



R B C I A M B

Revista Brasileira de Ciências Ambientais
Junho de 2015

Nº 36

Expediente

Editora Geral

Maria do Carmo Martins Sobral

Editor Executivo

Valdir Fernandes

Editores Internacionais

Günter Gunkel – Alemanha

Jose Alfaro Joins - EUA

Manuela Moraes - Portugal

Oscar Parra - Chile

Editores Nacionais

Francisco Suetônio Bastos Mota

Lúcia Xavier

Márcia Maria Rios Ribeiro

Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Mário Augusto Gonçalves Jardim

Maurício Dziedzic

Tadeu Fabrício Malheiros

Conselho Editorial

Adriana Rosseto, Arlindo Philippi Jr, Asher Kiperstock, Carlos Alberto Cioce Sampaio, Cleverson Vitorio Andreolli, Eliza Maria Xavier Freire, Fabiano Toni, Jorge Tenório, Leandro Gonçalves Oliveira, Luiz Carlos Beduschi Filho, Marco Antonio Almeida de Souza, Maria de Lourdes Florencio, Miguel Mansur Aisse, Wanderley da Silva Paganini

Coordenação

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES

Presidente Nacional da ABES

Dante Ragazzi Pauli

Responsáveis

Allan Rodrigues

Soraia Fernandes

Produção Editorial

Zeppelini Publisher

www.zeppelini.com.br

Submissão de artigos, dúvidas e sugestões: rbciamb@abes-dn.org.br



[Instruções para autores, clique aqui](#)

Esta é uma publicação em parceria com o Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável - ICTR www.ictr.org.br

ÍNDICE

1 - EDITORIAL

Maria do Carmo Martins Sobral - Johann Köppel - Marianna Siegmund-Schultze

3 - BALANCING ECOSYSTEM SERVICES AND SOCIETAL DEMANDS IN A HIGHLY MANAGED WATERSHED: SETUP AND PROGRESS OF A COMPREHENSIVE RESEARCH PROJECT

Equilibrando os serviços ecossistêmicos e demandas sociais numa bacia hidrográfica altamente manejada: organização e progresso de um projeto científico abrangente

Marianna Siegmund-Schultze - Johann Köppel - Maria do Carmo Sobral

19 - GOVERNANÇA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO: DESAFIOS DE ESCALA SOB OLHARES INTER E TRANSDISCIPLINARES

Challenges of multi-level governance in the São Francisco watershed: inter- and transdisciplinary perceptions

Verena Rodorff - Marianna Siegmund-Schultze - Johann Köppel - Edvânia Torres Aguiar Gomes

45 - CURVAS DE DEMANDA PELOS RECURSOS HÍDRICOS DOS PRINCIPAIS USOS CONSUNTIVOS NO SUBMÉDIO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Demand curves for water resources of the main water users in sub-middle São Francisco Basin

Gerald Norbert Souza da Silva - Luiz Eduardo Nascimento Figueiredo - Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes

60 - ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DA ATIVIDADE AQUÍCOLA EM PERNAMBUCO

Analysis of the environmental regularization procedures on aquaculture activities in Pernambuco

Érika Alves Tavares Marques - Maria do Carmo Martins Sobral - Maristela Casé Costa Cunha - Maiara Gabriele Souza de Melo

79 - USING GEOSTATISTICS TO EVALUATE THE SPATIAL VARIABILITY OF THE ENVIRONMENTAL DEGRADATION LEVEL IN ITACURUBA (PERNAMBUCO, BRAZIL)

O uso da geoestatística para avaliação da variabilidade espacial do nível de degradação ambiental em Itacuruba (PE)

Sebastião Cavalcante de Sousa - Vlândia Pinto Vidal de Oliveira - Karin Stock de Oliveira Souza - Josefa Maria Francieli da Silva - Francisco Ramon da Cunha Alcântara

96 - SCENARIOS OF CLIMATE AND LAND-USE CHANGE, WATER DEMAND AND WATER AVAILABILITY FOR THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN

Cenários de mudanças climáticas e de uso da terra, demanda e disponibilidade de água para a bacia hidrográfica do rio São Francisco

Hagen Koch - Anne Biewald - Stefan Liersch - José Roberto Gonçalves de Azevedo - Gerald N. Souza da Silva - Karolin Kölling - Peter Fischer - Robert Koch - Fred Fokko Hattermann

115 - ANÁLISE CLIMÁTICA DA PRECIPITAÇÃO NO SUBMÉDIO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO COM BASE NO ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

Climate analysis of the rainfall on sub-medium part of the São Francisco River basin based on the rain anomaly index

Janaina Maria Oliveira de Assis - Werônica Meira de Souza - Maria do Carmo Sobral

128 - CARRYING CAPACITY LIMITS OF NET CAGE AQUACULTURE IN BRAZILIAN RESERVOIRS

Limites da capacidade de suporte da aquicultura em tanques-rede em reservatórios brasileiros

Günter Gunkel - Elena Matta - Florian Selge - Gérsica Moraes Nogueira da Silva - Maria do Carmo Sobral

145 - DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DA TRANSPOSIÇÃO DE UM CANAL DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO, BRASIL

Diagnosis of water quality along a concrete canal: a case study about Sertão Alagoano Canal, Brazil

Karina Waleska Lopes Rossiter - Mohand Benachour - Elena Matta - Maria Manuela Queiroz Martins Mantero Moraes - Silvana Carvalho de Sousa Calado - Günter Gunkel

155 - ANNUAL RAINFALL VARIABILITY AND ECONOMICAL DEPENDENCY OF SMALLHOLDER AGRICULTURE IN THE SEMI-ARID NORTHEASTERN REGION OF BRAZIL

Variação da precipitação anual e a dependência econômica de pequenos agricultores no semiárido do nordeste do Brasil

Florian Selge - Heinrich Hagel - Günter Gunkel - Reiner Doluschitz

168 - THE SITUATION AND PERSPECTIVES OF AGRICULTURAL COOPERATIVES IN THE SURROUNDING AREA OF THE ITAPARICA RESERVOIR IN NORTHEAST BRAZIL

A situação e as perspectivas das cooperativas agropecuárias no entorno do reservatório Itaparica no Nordeste do Brasil

Heinrich Hagel - Lucy Rocío Zavaleta Huerta - Reiner Doluschitz - Christa Hoffmann - Christoph Reiber - José Ferreira Irmão

179 - UMBUZEIRO (*SPONDIAS TUBEROSA*): A SYSTEMATIC REVIEW

Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*): uma revisão sistemática

Jan Mertens - Jarcilene Silva de Almeida-Cortez - Jörn Germer - Joachim Sauerborn

198 - CONHECIMENTO ECOLÓGICO LOCAL SOBRE ANFÍBIOS ANUROS POR AGRICULTORES EM SISTEMAS AGRÍCOLAS DE REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

Local ecological knowledge about amphibians by farmers in agricultural systems of Brazilian semiarid region

Iaponira Sales de Oliveira - Eliza Maria Xavier Freire

212 - CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN FUNCTION OF DIFFERENT SOIL USES IN THE IRRIGATED PERIMETER OF ICO-MANDANTES IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO, BRAZIL

Mudanças nas propriedades do solo em função de diferentes usos do solo no perímetro irrigado de Icó-Mandantes na região semiárida de Pernambuco, Brasil

Rossini Mattos Corrêa - José Antônio Aleixo da Silva - Maria Bethânia Galvão dos Santos Freire - Gunter Gunkel - Marília Regina Costa Castro

Editorial

A *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* é uma publicação científica e interdisciplinar voltada à temática de desenvolvimento sustentável e à disseminação de novas tecnologias.

A presente edição da RBCiAmb contém resultados de pesquisas realizadas no âmbito do Projeto Innovate (*Interplay among multiple uses of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystems*), fruto de uma cooperação internacional coordenada pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e pela Universidade Técnica de Berlim (TU Berlin), da Alemanha, com participação de diversas instituições alemãs e brasileiras e promovida pelo Ministério de Pesquisa e Educação da Alemanha (Bundesministeriums für Bildung und Forschung – BMBF) e pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, no período de 2012 a 2016. O objetivo geral deste projeto é estudar as relações entre mudanças climáticas e formas de uso da terra e da água na região semiárida da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, visando encontrar alternativas de gestão sustentável dos usos múltiplos da água e do solo que possam subsidiar o processo de tomada de decisões.

Esta edição traz uma série de artigos que apresentam resultados parciais das pesquisas que vêm sendo conduzidas com diversidade de tecnologias e aplicações no tema com abordagem inter e transdisciplinar.

O artigo intitulado “Balancing ecosystem services and societal demands in a highly managed watershed: setup and progress of a comprehensive research project” exhibe um panorama em relação às mudanças de serviços ecossistêmicos estudados sob diferentes condições de cenários possíveis, em diversas escalas na bacia do Rio São Francisco.

Por sua vez, o artigo “Governança da bacia hidrográfica do Rio São Francisco: desafios de escala sob olhares inter e transdisciplinares” traz as perspectivas inter/transdisciplinares e multiníveis sobre a gestão sustentável da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e do reservatório Itaparica, identificando interfaces da escala local de uma bacia a fim de promover boa governança.

Já “Curvas de demanda pelos recursos hídricos dos principais usos consuntivos no submédio da bacia do São Francisco” contextualiza os usos múltiplos da água, os conflitos existentes e os mecanismos de cobrança econômica por meio de curva de demanda dos recursos hídricos, na bacia do São Francisco.

O artigo “Análise dos procedimentos de regularização ambiental da atividade aquícola em Pernambuco” trata o tema de forma quali-quantitativa com base na análise do processo de regularização ambiental da aquicultura no estado pernambucano, identificando os principais entraves para a obtenção do licenciamento ambiental.

“Using geostatistics to evaluate the spatial variability of the environmental degradation level in Itacuruba” discorre acerca da detecção e do monitoramento da degradação ambiental utilizando a geoestatística para prever a variabilidade espacial de dados indicadores de degradação ambiental em nível local no município de Itacuruba, na bacia hidrográfica do São Francisco.

O artigo “Scenarios of climate and land-use change, water demand and water availability for the São Francisco river basin” explica como os cenários de mudanças nos padrões de uso da terra, de produção agrícola e de mudanças climáticas podem afetar a demanda e a disponibilidade de água na bacia do Rio São Francisco.

“Análise climática da precipitação no submédio da bacia do Rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva” analisa a variabilidade espaço-temporal da precipitação climática e caracteriza os períodos seco e chuvoso no trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco mediante a metodologia do índice de anomalia de chuva (IAC).

O artigo “Carrying capacity limits of net cage aquaculture in Brazilian reservoirs” aborda a aquicultura em tanques rede na bacia do São Francisco, com foco na produção da tilápia e sua relação com o processo de eutrofização no reservatório de Itaparica.

O artigo “Diagnostic of water quality along a concrete canal: a case study Sertão Alagoano Canal – Brazil” examina a evolução de parâmetros físico-químicos da água no Canal do Sertão Alagoano, que capta água do Rio São Francisco para abastecer municípios do estado de Alagoas.

“Annual rainfall variability and economic dependency of smallholder agriculture in the semi-arid Northeast Brazil” e “The situation and perspectives of agricultural cooperatives in the surrounding of the Itaparica Reservoir in Northeast Brazil” fazem um estudo acerca da agricultura. O primeiro artigo insere-se no contexto físico das mudanças climáticas, com foco na identificação de impactos regionais na produção agropecuária provocados pela variação anual da precipitação. O segundo traz a situação das cooperativas agrícolas e aponta como elas têm contribuído para aumentar o poder de barganha na comercialização agrícola e facilitar o acesso ao crédito e à extensão rural.

O artigo “Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*): a systematic review” apresenta um estudo qualitativo sobre o umbuzeiro, que é considerado uma árvore frutífera de espécie endêmica no semiárido do Nordeste brasileiro com grande potencial de desenvolvimento.

O artigo “Conhecimento ecológico local sobre anfíbios anuros por agricultores em sistemas agrícolas de região semiárida brasileira” expõe a questão dos anfíbios anuros como bioindicadores de qualidade ambiental e a importância dessas espécies como controladores de insetos pragas.

Por fim, o artigo “Changes in soil properties the function of different cultivations in the irrigated perimeter of Icó-Mandantes in the semiarid of Pernambuco, Brazil” teve por objetivo uma avaliação físico-química do perímetro irrigado de Icó-Mandantes.

Esses artigos demonstram a interdisciplinaridade das pesquisas que vêm sendo realizadas no âmbito do Projeto Innovate, as quais buscam contribuir para a produção de conhecimentos científicos na região semiárida do São Francisco e servir de base para inovações econômicas e sociais, assim como gerar uma ferramenta de apoio à decisão para auxiliar o desenvolvimento regional e a melhoria da qualidade de vida da comunidade local.

Profa. Maria do Carmo Martins Sobral
Coordenadora brasileira do Projeto Innovate (UFPE)

Prof. Dr. Johann Köppel
Coordenador alemão do Projeto Innovate (TU Berlin)

Dra. Marianna Siegmund-Schultze
Coordenadora executiva alemã do Projeto Innovate (TU Berlin)

BALANCING ECOSYSTEM SERVICES AND SOCIETAL DEMANDS IN A HIGHLY MANAGED WATERSHED: SETUP AND PROGRESS OF A COMPREHENSIVE RESEARCH PROJECT

EQUILIBRANDO OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E DEMANDAS SOCIAIS NUMA BACIA HIDROGRÁFICA
ALTAMENTE MANEJADA: ORGANIZAÇÃO E PROGRESSO DE UM PROJETO CIENTÍFICO ABRANGENTE

Marianna Siegmond-Schultze

Senior scientist at the Environmental Assessment and Planning Research Group, Technische Universität Berlin (Berlin Institute of Technology) – Germany.

Johann Köppel

Full professor and head of the Environmental Assessment and Planning Research Group, Technische Universität Berlin (Berlin Institute of Technology) – Germany.

Maria do Carmo Sobral

Full professor in Civil Engineering, Universidade Federal de Pernambuco – Recife (PE), Brazil.

Corresponding address:

Marianna Siegmund-Schultze
Technische Universität Berlin –
Secr. EB 5 – Straße des 17.
Juni 145 – 10623 Berlin – Germany –
E-mail:
m.siegmund-schultze@tu-berlin.de

ABSTRACT

The INNOVATE project, a comprehensive Brazilian-German research collaboration, addresses sustainable land management in the São Francisco watershed and its Itaparica reservoir. The project studies management options, which promote sustainable ecosystem services and economic viability in climate change conditions. At basin scale, questions of water quantity and quality prevail, including resource allocation and governance. Local and regional studies investigate natural land processes and water resources in addition to their management post dam construction. Consortium researchers are confronted with a multitude of expectations, ranging from knowledge production to interacting with stakeholders and scientists of different disciplines and cultures. As an overview, we predicted potential changes of studied ecosystem services under different conditions within possible scenarios. Further integration of results is ongoing, as is the conversion of scientific results into guidance for stakeholders.

Keywords: inter- and transdisciplinary research; sustainable land management; São Francisco watershed; Itaparica reservoir; follow-up stakeholder analysis; ecosystem services; scenarios.

RESUMO

O projeto científico INNOVATE, uma cooperação teuto-brasileira, investiga o uso sustentável de recursos naturais nas escalas da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e ao redor do seu reservatório de Itaparica. O projeto estuda opções de manejo que sustentam tanto os serviços ecossistêmicos como o bem-estar da população num cenário de mudanças climáticas. Na escala da bacia estudam-se assuntos de vazão e qualidade de água, inclusive questões de alocação e governança da água. Na escala local, anos depois da construção da barragem, pesquisamos processos naturais da água e terra e sua gestão. Os pesquisadores enfrentam uma série de expectativas – gerar conhecimento, interagir com interessados e cientistas de outras disciplinas e culturas. Como uma síntese exemplar, são apresentadas as mudanças de serviços ecossistêmicos estudados sob diferentes condições de cenários possíveis. A integração dos resultados está atualmente em andamento, bem como a conversão de resultados em diretrizes úteis nas diferentes escalas.

Palavras-chave: pesquisa inter e transdisciplinar; gestão sustentável; bacia hidrográfica do Rio São Francisco; reservatório de Itaparica; análise de atores; serviços ecossistêmicos; cenários.

INTRODUCTION

Access to enough water of adequate quality is crucial for productive resource use in semiarid regions. Climate change appears to make future water availability increasingly unpredictable. Managing land and water resources is often controversial: different users share the same or parts of the same environment and they make decisions that affect the options of other users. Ecosystems cannot campaign for themselves; they require conservation advocates. The concept of ecosystem services is bridging the gap by providing a framework for identifying, assessing, valuing, and analyzing usage rules of nature's life sustaining goods and services. These ecosystem services are now commonly sorted into three groups: habitat and regulatory services, provisioning services, and cultural services. The Sustainable Land Management (SLM) program, launched by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) (EPPINK *et al.*, 2012) assesses interactions between land management, climate change, and ecosystem services to inform the decisions of local and global stakeholders on land management (in its broader definition including soil, water, vegetation, fauna, and people) and foster transformation towards more sustainable resource stewardship. INNOVATE is a large consortium of Brazilian and German researchers, organized within the SLM program, committed to inter and transdisciplinary research, including the implementation of selected results. The core period of the project is January 2012 to December 2016.

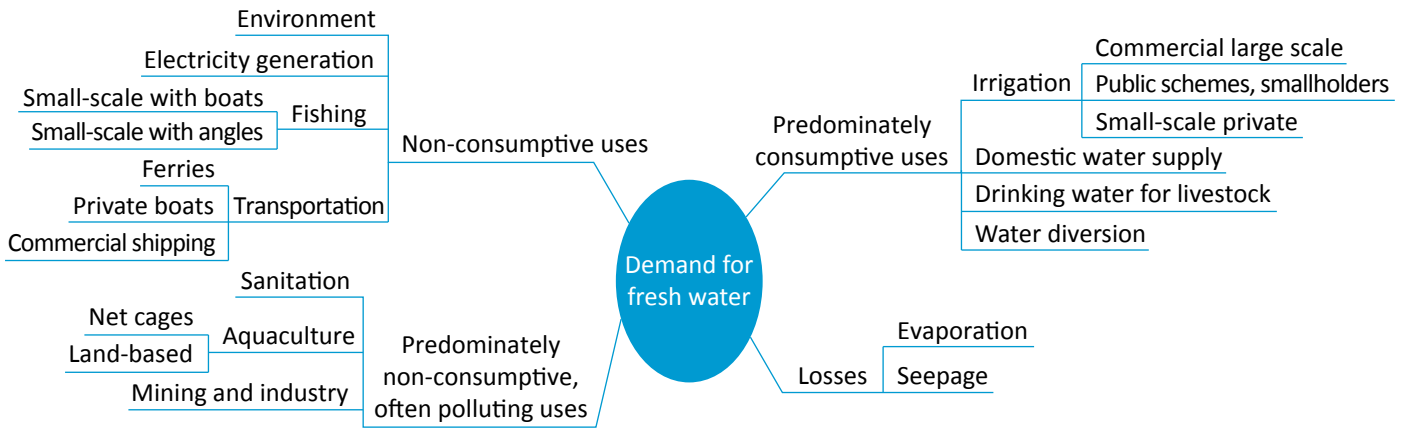
The overarching concept and title of the research project is "Interplay among multiple uses of water reservoirs via innovative coupling of aquatic and terrestrial ecosystems." Members study the current situation and model future scenarios. The underlying general question is "which existing management options are promising and conducive for sustainable land and water management in the study region?" The study is multi-scale — the entire São Francisco watershed, the area around one of its artificial reservoirs belonging to the Itaparica microregion including municipalities in the Pernambuco portion affected by the Itaparica (actually called Luiz Gonzaga) dam, down to single natural resource users and plots. The transformation drivers are primarily hydropower generation, water usage, demographics, technology use,

and climate change. Indicators used in the studies include biodiversity patterns, nutrient balances, carbon dynamics, water use efficiency, trade-offs, water availability, minimal flow, economic efficiency, stakeholder endorsement, and institutional fit.

Interdisciplinary integration, inter-cultural openness, and understanding are fundamental to forming a large project with 7 sub-projects and a total of 21 research modules, each with Brazilian and German researchers. Part of this integration is structurally organized by mixing the research modules. Joint planning and learning in project workshops and smaller meetings is complemented by cooperation in research activities. Research is also transdisciplinary, connecting with stakeholders at different levels and from different sectors while facilitating exchange among these stakeholders in order to reach meaningful results for society. Environmental studies at the watershed scale typically require interdisciplinary and transdisciplinary collaboration as a range of knowledge and actors are at stake (REED *et al.*, 2014).

The transitional phase towards the uptake of innovations is challenging: drivers and barriers work against each other (MUTOKO *et al.*, 2014). The project aims to identify major drivers and barriers in order to increase transparency and system understanding, which enables informed decision-making. Main issues at watershed scale are the safeguarding and allocation of scarce water resources (Figure 1) in an integrated, participatory method, as outlined in the National Water Act (BRASIL, 1997). The São Francisco watershed is a large watershed. The Itaparica reservoir in the semi-arid Northeast region was selected as a nested case study. The central issues at the reservoir scale are unsolved interferences in land use and water ecology following dam construction (Figure 2). The management of the basin and the major reservoirs, which are roughly 25 to 50-years old, is regularly difficult. Despite frame conditions changing, reservoir ecology and management will remain topics of discussion since there are still more dams planned in Brazil (WESTIN *et al.*, 2014).

Our overall problem statement and approach can be summarized as a sectorial perspective on how a sole focus on short-term benefits threatens the natural resource basis - in this case, mainly water for diverse uses



Note: Non-consumptive defined as no withdrawal or return flow being higher than consumptive use.
Consumptive use: no return flow or consumption higher than return flow.

Figure 1 – The different, partly mutually exclusive water demands from the São Francisco River.

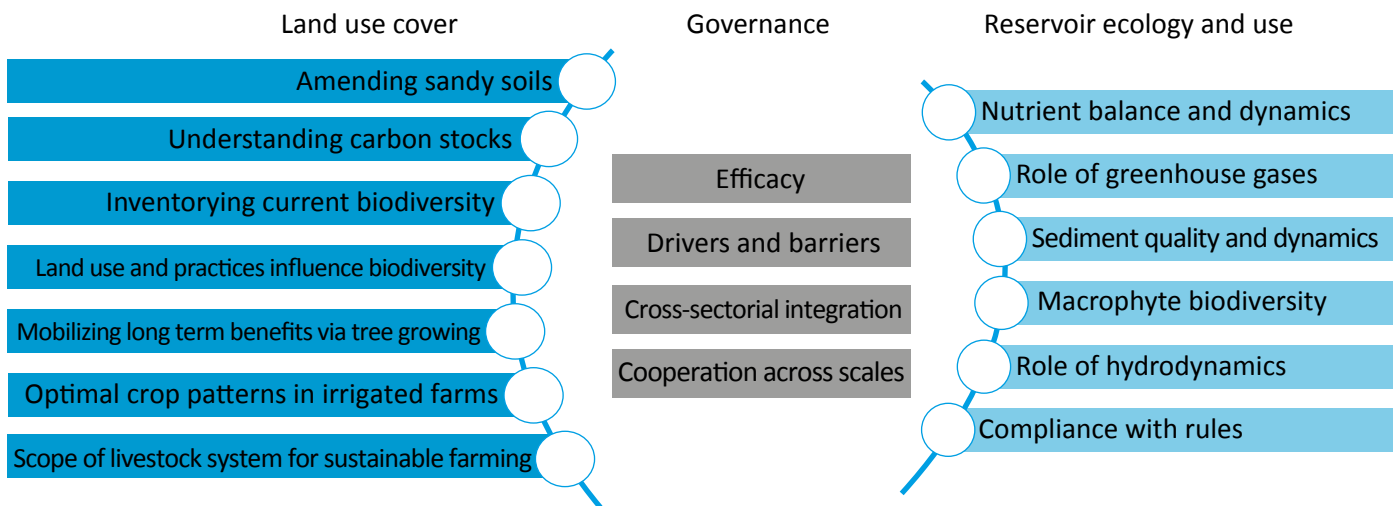


Figure 2 – Topics of large dam follow-up (INNOVATE project): The case of the Itaparica reservoir in the Brazilian Northeast.

and land suitable for farming. Addressing the concept of ecosystem services in an interdisciplinary consortium reveals interlinkages and provides insights and prerequisites for sustainable resource management.

Recommendations for action will be tailored for and with different stakeholder groups in an iterative process. The following sections present snapshots of the scientific work and its integration.

SITE DESCRIPTION AND PROJECT LOCATION

A number of large-scale studies analyzed the conditions of the São Francisco watershed, including the comprehensive 10-year water resources management plan (ANA *et al.*, 2004), and the ecologic-economic macro-zoning (MMA, 2011). Both emphasize technical as-

pects and illustrate selected socioeconomic conditions. In summary, critical structural causes determine water scarcity. Economic water scarcity can be rooted in a lack of infrastructure and exclusion in social criteria and political processes (MOLLE *et al.*, 2007). Therefore, conflict

mediation for water allocation is needed. Water management is an increasingly political process (MOLLE, 2009). In the example of the São Francisco watershed, the regional development agency (CODEVASF; current name since 1974, an early predecessor was created by a law in 1949) follows the watershed development discourse, while the more recent discourse, introduced in Brazil by the Water Act 9433/97 (BRASIL, 1997), requires decentralized and participatory management, steered by a watershed committee. The committee for the São Francisco watershed (CBHSF) was created in 2001 (AGB PEIXE VIVO & CBHSF, 2011). To our knowledge, no comprehensive cooperation protocol has been established between the committee and CODEVASF. CODEVASF's suggestion and current construction of water transfer channels diverting water out of the original watershed have made this complex coexistence evident (AGB PEIXE VIVO and CBHSF, 2011). The majority of committee members were against the water diversion project. However, the installation of new irrigation schemes, an option after water diversion, is often welcomed by the local population or farmers moving in from other regions.

The São Francisco watershed roughly measures 630,000 km² (MANETA *et al.*, 2009). Specifications on the length of the river vary between 2,700 km (BRAGA *et al.*, 2012) and 3,200 km (CHESF, n.y.). The main river contains nine large hydropower plants (BRAGA *et al.*, 2012). There are three major artificial reservoirs: Três Marias (since 1961), Sobradinho (1979) and Itaparica (1988); total storage capacities are 19, 34, and 10 billion m³, respectively (ANA *et al.*, 2004), and maximum surface area is 1,142, 4,214 (MANETA *et al.*, 2009), and 834 km² (AGAM TECNOLOGIA LTDA & CHESF, 2003), respectively. The watershed has been divided into four administrative sub-regions. The currently used division and the four sub-regions themselves are described in Siegmund-Schultze *et al.* (2015).

The construction of the Itaparica dam expelled 40,000 inhabitants (CERNEA, 1991). Resettlement was

costly and to some extent inefficient. Additionally, installing compensation infrastructure in the form of irrigation schemes for farmers was slow (WORLD BANK, 1998). Compensation payments lasted at least until 2011, when a further irrigation scheme had been established (RODORFF *et al.*, 2013). The livelihoods of the local people widely rely on natural resources, such as land for agriculture and water for fishing. These resources were highly affected by the artificial lake construction. People's practices are not yet satisfactorily adapted and natural processes not sufficiently understood.

INNOVATE researchers from different disciplines investigate related problems. Studies at the basin scale address the current debate on water quantity and quality from technical, economic, and governance viewpoints. While technical and economic studies at the basin level mainly draw on existing datasets, the other researcher groups predominantly collect primary data via surveys, key person interviews, and experiments. On the local level, six municipalities in Pernambuco located north of the Itaparica reservoir have been selected: Belém do São Francisco, Itacuruba, Floresta, Petrolândia, Jatobá, and Tacaratu, with one activity taking place in Delmiro Gouveia in Alagoas state. Figure 3 depicts the basin and presents it by municipality where interviewing, surveying, and sampling is taking or took place, and where the experiments are located. The local scale study region is, on the one hand, characterized by major changes in land use and population dynamics in the last decades and, on the other hand, by the typical inter-annual variation of rainfall and high potential evaporation rates due to the semiarid environment. The predominant biome, Caatinga (covering also roughly half of the basin), is a dry forest with a distinct and regionally varying flora and fauna. Roughly half of the local study area has arenosols (*areias quartzosas*, south of Icó-Mandantes creek), while the other half alfisols, partly hydromorph (*bruno não cálcico, planossolo*) (EMBRAPA-SOLOS, 2000).

ECOSYSTEM SERVICES

The Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2005) created an influential conceptual framework, which connects ecosystem services and biodiversity with human well-being. The original four service categories (provi-

sioning, supporting, cultural, and regulating) are framed by direct and indirect drivers at different scales and under different time horizons. Inherent to the systemic ecosystem services concept is analyzing the impact of or

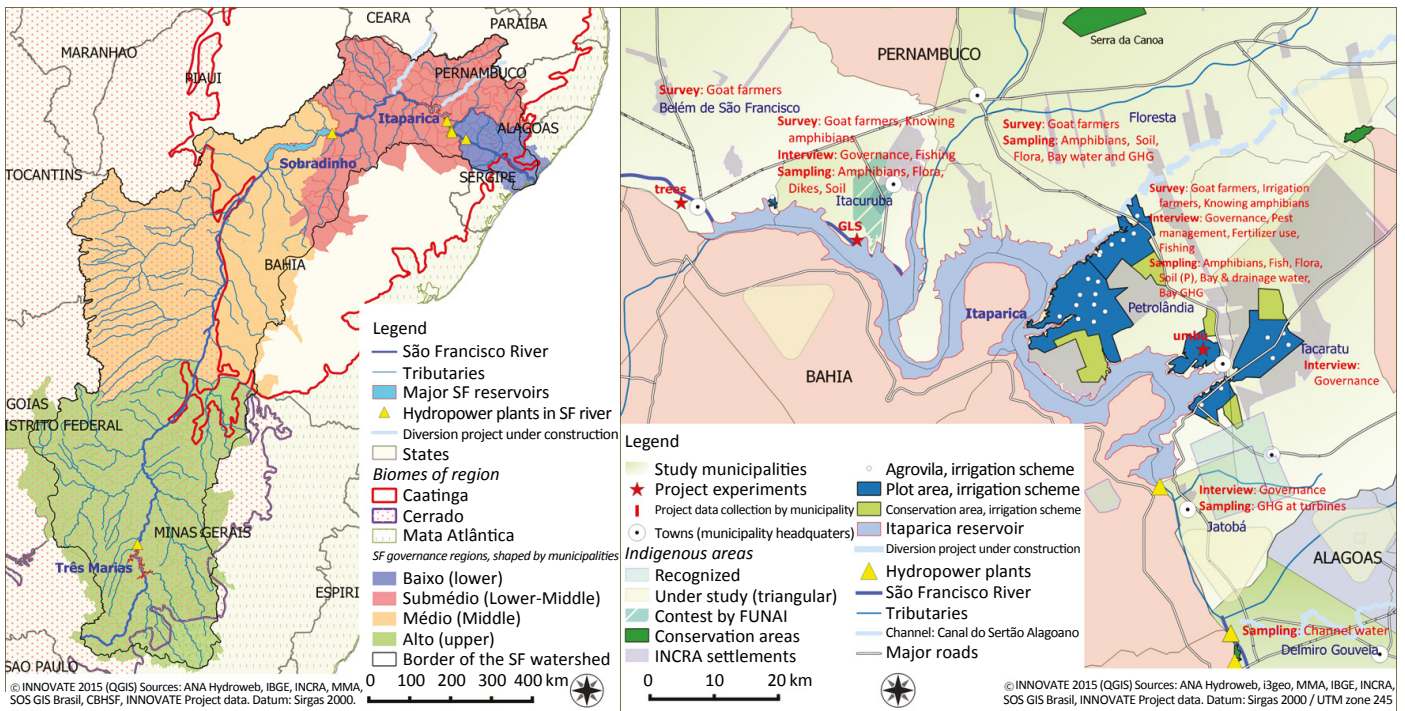


Figure 3 – Location and characteristics of the São Francisco watershed (left) and experimental sites of the INNOVATE project (right).

on ecosystem services groups, not simply individual services (FOLEY *et al.*, 2005). Developing “the cascade” to distinguish between processes, functions, service potential, final services, benefits, and values was a milestone in the discourse connecting ecosystem services, biodiversity, and well-being (HAINES-YOUNG & POTSCHIN, 2010). The same authors suggested focusing on direct benefits, excluding the supporting services, to avoid a potential double counting of benefits. The final intention of the ecosystem service concept is to advocate for natural, non-marketed services and goods by strengthening their case in decision-making. Daily *et al.* (2009) have proposed a simple framework for integrating ecosystem services into decision-making. First, ecosystem services need to be specified, then valued differently, and, finally, the governing institutions and the incentives necessary for decisions should be outlined to show which human actions will affect ecosystems. Current management practices either sustain or threaten the availability of and access to the benefits. Deriving multiple benefits from one user is common, as is the more complicated situation of sustaining and threatening one or several services at the same time.

Stakeholder analysis, in general, is executed in three steps – identifying stakeholders, categorizing them, and exploring their relationships (REED *et al.*, 2009). Rodorff *et al.* (this issue) focus on the third step. Using constellation analysis, it goes beyond stakeholder analysis since the analysis of actors is complemented by the people’s major frame conditions and stakes of action and concern – elements of the natural and technical environment and the institutions and rules in place. Table 1 presents a selection of stakeholders (beneficiaries and offenders) at different scales and belonging to different societal groups. The selection and classification changed slightly over the course of the project. Some stakeholders are highly time-specific and, therefore, transitory. The international consultancy plays a role in the renewal of the catchment’s management plan; the World Bank enters occasionally, depending on implemented development projects.

The INNOVATE project mainly focuses on regulating ecosystem services, biological pest control, provision of fresh water, and reduction of greenhouse gas (GHG) emissions (carbon stocks, methane emissions). The related benefits to people are: more

Table 1 – Overview of selected stakeholders, classified by societal type and administrative level.

	Micro Local, unicity	Meso Reservoir, regional	Macro Watershed, national	International
Private	Farmers, Fishers, Residents, Bloggers	Agricultural extension service ¹ , Operation & maintenance ¹ , Traders	AGB Peixe Vivo, CEMIG	Consultancy
Mixed	Associations ² , Irrigation district administration, Cooperatives ² , STR, CPP, Recognized indigenous, Recognized <i>quilombola</i> ³	CHESF ⁴ , CCR Submédio, FETAPE, Pólo Sindical, ASA, Território ² , IRPAA, Priest (Church)	CBHSF ² , CHESF, MST, MAB OXFAM ⁵ , WOCAT	
Public	Secretaries, Mayors, ADAGRO ⁵ , IPA ⁵ , IFPE ⁵ , Schools, BNB ⁵ , BB ⁵ , BNDES ⁵	CODEVASF ⁵ , Secretaries, CPRH, INCRA, COMPESA, EMBRAPA, ITEP, APAC, UNIVASF, UNEB, UFPE, UFRPE, UFMG, UFAL, UFBA, IFPE	CODEVASF, ANA, ONS, ANEEL, IBAMA, INCRA, IBGE, FUNAI, MMA, MI, MME, MDA, MAPA, MPLOG, M transport, Senate, MCTI	World Bank, UNCCD, FAO, World Commission on Dams

¹By CODEVASF contracted companies; ²with civil society; ³*quilombola* is a common designation given to refugee slaves into *quilombos* or descendants of African slaves whose ancestors escaped from sugar cane farms and other properties during the period of slavery and formed little villages named *quilombos*; ⁴local/regional offices or branches; ⁵mainly historically involved.

ADAGRO – Agricultural pest control and monitoring; AGB Peixe Vivo – executive agency of the watershed committee; ANA – national water agency; ANEEL – electric energy agency; APAC – state water agency; ASA – network promoting sustainable development policies in the semiarid region; BB/BNB/BNDES – banks; CBHSF – São Francisco watershed committee; CHESF – hydropower company; CEMIG – electricity company; COMPESA – state sanitation company; CPP – church council for fishermen; CPRH – state environment agency; CCR Submédio – regional representation of the watershed committee; CODEVASF – regional development agency; EMBRAPA – agricultural research corporation; FAO – food and agriculture organization of the United Nations; FETAPE – rural workers’ federation; FUNAI – Indian foundation; IBAMA – environment and national resources institute; IBGE – geography and statistics institute; IFPE – technical college of Pernambuco; INCRA – institute for colonization and agrarian reform; IPA – state agricultural extension and research service; IRPAA – institute for adapted smallholder technologies; ITEP – state technology institute of Pernambuco; MAB – movement of people affected by dams; MST – landless rural workers’ movement; MMA/MI/MME/MDA/MAPA/MPLOG/M transport/MCTI – ministries; Pólo sindical – farmers’ union; Oxfam – NGO confederation to combat poverty and injustice; STR – farmers’ union; Território – regional administrative unit; UNCCD – UN convention to combat desertification; UNIVASF/UNEB/UFPE/UFRPE/UFMG/UFAL/UFBA – universities (including scientists and international partners); WOCAT – global network of soil and water experts.

predictable crop harvests and the subsequent provision of crop by-products to livestock; the availability of water for various purposes (e.g. drinking water, irrigation water, water for aquaculture, and bathing water, as well as water to dilute wastewater); and a contribution to climate regulation via carbon storage in soil and plants and restriction of further GHG emissions. The three services are interlinked. Irrigation water enables crops to grow, albeit generally not along a linear relationship. Fresh water is being contested by various uses, such as hydropower generation, domestic water supply, and irrigation under very diverse conditions.

Many crops, especially when densely cultivated in a monoculture plot, require more protection from pests. This can be achieved by pesticides, which need energy for production and dispersal and can potentially pollute water sources, or via biological pest control. Yet, high returns from crops may lead to the intentional reduction of natural habitats — where beneficial predators thrive — in order to increase land used for farming. The reduced habitats may create a reduced capacity to store carbon, since sequestration is generally higher and more persistent in natural habitats than in crop plots. The final benefits, produce for consumption or sale

and contribution to halting climate change, can likely be increased only up to a point. The adequate balancing of services and benefits is the ultimate goal of the research project. To achieve this, a num-

ber of studies are underway to quantify and value the selected regulating services and goods and to reveal relevant pathways of information and decision-making (Table 2).

SCENARIOS FOR STUDYING AND GOVERNING THE REGION

Using scenarios in scientific and practical fields is a widespread and diverse practice. Some authors ap-

ply scenarios that study single sectors. Maneta *et al.* (2009) analyzed the expansion potential for irrigation

Table 2 – Ongoing studies of the INNOVATE project and preliminary results on selected ecosystem services.

Ecosystem service	Ongoing studies in the frame of the project			
	Quantification	Valuation	Main rules and stakeholders	Decisions
Biological pest control	Land users know several key species; safeguarding habitats is important for control; farmers often rely on vast pesticide quantities though using the service could be more economically efficient.	Economic efficiency of smallholder production patterns.	Agricultural policy, law on pesticides, national and regional conservation laws, law on environmental crimes, development paradigm; farmers, extension services, local pesticide sellers, CODEVASF, EMBRAPA.	At national government level: which type of agriculture to promote and support and how. At local action scale: conserving habitats to enhance service benefits and limit pesticide use.
Reduction of GHG emissions	CH ₄ emissions measured at different points in the reservoir. Results suggest less concern than anticipated. C stocks determined in soil and biomass, modeled within soil.	...	National law on climate change, national and regional conservation laws, law on environmental crimes; farmers, extension services, CODEVASF, EMBRAPA.	At governmental level: Realize monitoring and control of conservation areas, promote conservation measures. At local action level: refrain from slashing vegetation, use alternative fuels and amend soils.
Provision of fresh water	Water quantity and quality in basin models affected by climate change; “green liver system” to purify water by macrophytes; local water quality studies. During low water level crisis: water quality can be critical, water quantities harshly reduced, separation of man-made from natural causes still contested.	Cost efficiency of sanitation measures; economic efficiency of the “green liver system”.	National water law, CONAMA regulation, national energy matrix, law on basic sanitation; local water users, sanitation agencies, CBHSF, ANA, ONS, CHESF, CEMIG.	Realize governance adaptations in line-organizations in consonance with the Water Law. On local action level: reduce water spoilage, improve water use efficiency, prioritize low water demand applications, improve wastewater disposal.

Notes: Information derived from project seminars and project reports. Abbreviations: compare notes of Table 1.

in the upper and middle portion of the São Francisco watershed, but also acknowledged the impact on fishery and hydropower. Companies, such as the electric power grid company ONS, have the mission to distribute the electricity supply nationwide, hence, their models focus on available resources, such as hydropower. The National Water Act (BRASIL, 1997) prescribes the principle of various water uses of equal importance, which requires integrated planning of water resources when resources are scarce. The regional development agency developed prospective mid-term scenarios for the period of 2009 until 2028, distinguishing three main scenarios and applying them to the four sub-regions of the watershed, assuming that these may not develop in the same direction or pace (CODEVASF & FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2011). Scenario one has been called “the march” (*A Marcha*) and depicts a slow, though steady, development pathway. Scenario two is “the flight of the hyacinth macaw” (*O Vôo da Arara Azul*), indicating an ambitious and innovative way forward. Scenario three is “the flight of the potoo” (*O Vôo do Urutau*), a nocturnal species with a painful cry, demonstrating that the situation may also worsen, putting development at risk.

Considering water as a scarce resource entails a paradigm change from the previously promoted “culture of abundance”, which meant little awareness of the impacts on the life supporting system by human activities (ROMANO & CADAVID GARCIA, 1999). Integrated natural resource management is increasingly framed as a nexus problem, which involves systemic thinking and integrated solutions (HOFF, 2012). Interdependencies and competition among sectors have been described as the major challenges in nexus problems which call for a cross-sectorial approach (KARLBERG *et al.*, 2015). Managing the cross-sectorial approach requires a common understanding of tools. A scenario discussion within the project revealed that the scientists involved had very different perceptions of what a scenario entails. Therefore, the type of scenario had to be made explicit first. While natural scientists tended to prioritize exploratory models, which forecast trends in simulation runs, the social scientists considered primarily back casting models, searching for best methods to reach or avoid vision in an anticipatory, strategic way. The group of project scientists explored both ways, finding that optimization potentially plays a role in both, and offered a set of three major scenarios, which reflect both approaches (Table 3).

Table 3 – Project scenarios used by INNOVATE in studying the São Francisco watershed.

Scenario label	Modeled frame conditions	Climate scenarios	Case-specific storylines
Baseline	Planned and started irrigation projects fully implemented.	No CC	Development will continue approximately as it was during the years 2012 to 2015.
A2 ^(a) —Social fragmentation	High population growth, little environmental awareness, increasing divide between rich and poor people.	More humid Drier No CC	Technical divide in irrigation techniques widens, focus on engineering solutions, more water diversion projects pushed through, strong increase in cropping area and aquaculture, crops with high water demand, strong overall increase of nitrogen surplus, governance becomes even more fragmented.
B1 ^(a) —Global awareness	Globalization along with higher environmental awareness, leading to less population growth and a fairer, sustainable economic growth.	More humid Drier No CC	Increased irrigation efficiency, more conservation of natural vegetation, accounting for ecological water flow demand, some increase in cropping area and aquaculture, crops with lower water demand, lower nitrogen surplus increase, effective monitoring and control systems, policies are developed and implemented across sectors.

Note: The storyline entries are not fully corresponding with particular other row entries; they are meant as approximations.

^(a)According to SRES climate scenarios; UKMO HADCM3 used for modeling land use and crop mix.

No CC – no climate change modeled.

Special Report on Emissions Scenarios (SRES) climate scenarios have been used for simulating and downscaling global changes in land use and crop mix for the São Francisco basin (MAGPIE). The next model (SWIM) used the resulting information on land use and crop mix and simulated possible future surface-water quantities within the watershed under climate change conditions. The downscaling of land use scenarios and the hydrological simulations are described in Koch *et al.* (this issue). Again, results are being fed into following models at lower scales (compare for instance Silva & Moraes (this issue)). First results have been discussed with stakeholders leading to adjustments within modeled scenarios. These top-down, interconnected and primarily exploratory model applications are based on quantitative data using a range of data sources, consisting mainly of open access data sets. The storylines also describe qualitative characteristics plausible for the São Francisco basin and align with the global scenario ideas. Likewise, scenarios serve to discuss or further test experimental study results under different future conditions. In the beginning, a fourth scenario had

been discussed in which conditions worsen, but it was not explicitly pursued. Nevertheless, the quantitative runs of models will not necessarily always reflect the assumed qualitative characteristics and may introduce other projections and externalities in further analyses. So far, the question addressed by using the scenarios is not how probable these scenarios are, but to demonstrate different path dependencies, as well as opportunities for action and limits to action. Quantitative models will primarily produce results for a 20-year period (up to the year 2035, forming the middle point of the years 2021 to 2050). Since climate change and run-off processes are generally slow, these will additionally be modelled until the end of the 21st century. Both scenario applications, forward and backward, can guide decision-making. The project scenarios are widely compatible with the earlier presented scenarios. Through their quantitative application, they are introducing the effect of climate change, using diverse scenario predictions. Societal or regional differences are not modelled by separately treating the basin's sub-regions but by model-inherent features, such as social fragmentation.

HOW THE SCENARIOS AFFECT ECOSYSTEM SERVICES AND RURAL LIVELIHOODS

How the scenarios possibly shape the ecosystem services and people's wellbeing is explored in a qualitative, projective analysis (Table 4). The baseline scenario characterizes the fate of ecosystem services under current conditions: low or only slowly growing consideration of the studied ecosystem services. Under social fragmentation they are even less valued, counteracting positive externalities, leading to increased loss of biodiversity, higher emissions, higher soil degradation, and higher

demand in water. This will ultimately negatively affect the sectors that depend on these natural resources, widening the gap of social fragmentation even more. Due to global awareness, the positive view of ecosystem services conservation is prevailing; measures are undertaken that reduce negative effects, though they cannot be stopped altogether. As long-term benefits are considered at expense of short-term benefits, compensatory measures might be needed to bridge the time gap.

RESEARCH RESULTS SERVING SOCIETAL DECISION-MAKING

INNOVATE's mandate is not only to produce new knowledge but also to connect and cooperate with stakeholders who can benefit from the scientific results. Some of our research areas rely on the interaction with stakeholders. We have held a series of workshops to undertake constellation analysis (compare Rodorff *et al.* in this issue). Other studies were based on resource user surveys. To support both the production of useful knowledge and work towards the implementation of future

results, the project developed a concept involving three elements:

1. a written guidance document,
2. face-to-face workshops with stakeholders, and
3. cooperation on-demand.

The latter can involve both written and live elements. While the written document is in its infancy as data analyses and interpretations are still ongoing, a num-

Table 4 – Provision and use of ecosystem services under different scenario conditions (conceptual overview, INNOVATE project).

Ecosystem services	Scenario		
	Baseline	A2 – Social fragmentation	B1 – Global awareness
Biological pest control	Little used and no incentives to use.	Does not play any role; potential faunal populations decrease.	Becomes a large-scale, actively supported solution; increased research activities trigger new options.
Possible trade-offs	Inefficient smallholder farming.	Reflects biodiversity loss; pesticide industry needs large amounts of water and energy.	On average smaller yields need compensatory measures such as reducing post-harvest losses.
Reduction of GHG emissions	Almost no awareness.	Not taken into account; emissions increase greatly.	Adoption of measures to reduce emissions; at maximum a slow increase of emissions.
Possible trade-offs	Counteracting unintended mitigation.	Release of carbon and methane deteriorates climate forecasts; soil degradation and biodiversity loss.	Conservation measures might be beneficial in the long term but in the short term, income might be lost.
Provision of fresh water	Perceived unfair allocation of scarce water resources; slowly growing public awareness of resource scarcity.	Management favors large water users including additional water diversion projects; pollution is considered secondary.	Adaptive water management; more and better sanitation; restoration projects contribute to water flow regulation.
Possible trade-offs	Conservation is considered contrary to production. Different development paradigms exist.	Crop choice according to world market prices – use of water-demanding crops worsens water use efficiency, as do precarious smallholder systems; commercial shipping may stop altogether.	Shift in crops enhances agrobiodiversity; restoration projects support biodiversity; wind power and solar energy complement energy matrix, levelling out shortages.

GHG: Greenhouse gas.

ber of stakeholder workshops have already occurred. At the watershed scale, project members organized several meetings with stakeholders at different hierarchical scales and located in different areas of the watershed. One series focused on data sets and missing data in modeling and scenario analysis, with the intention to find some of the missing data. It also served to discuss scenario storylines with stakeholders. Another series focused on already set up models and their initial results. The intention was to learn which data and results might be most useful for which stakeholders. A third series centered on the multiple uses

of water at the river basin scale. It covered benefits and duties of public participation, how decision rules affect water availability, which practical conclusions one can draw from hydrodynamic modelling, and the risk of phosphorous losses from soils and how to reduce them. At reservoir (local) scale, project members also held three series of meetings. Series one primarily addressed students in the municipalities of focus, while series two aimed to involve adult stakeholders as well. Most of the project members working at the local level had prepared short summaries to provide highlights of their studies in acces-

sible language, and they engaged with attendees on these topics. A written summary is being prepared for teachers to help them share the information locally. A third set of four meetings addressed farmers, with a focus on livestock keepers. Topics included civil society engagement and adaptation strategies for farmers to better and more sustainably cope with their natural and economic environment.

The third element, cooperation on demand, has two lines at the watershed scale, which are both related to the committee of the São Francisco watershed and its executive agency, the AGB Peixe Vivo. First, we are cooperating with the appointed international consulting group, which is renewing the basin plan. One meeting served to exchange data, documents, and concepts. Further exchange took place during seminars and a conference. Second, the project has been asked to cooperate in the network of basin-related researchers to help consolidate access to datasets and information on finished and ongoing studies. On the local and regional scale, the governmental development agency of the São Francisco basin (CODEVASF) in Petrolina, a regional agency, asked the project to formulate development projects derived from the ongoing studies. This request still needs to be broken into feasible tasks for respective project scientists. Another cooperation attempt combines a written document for discussion and comments with stakeholders by e-mail.

Which management options or questions can finally be addressed by the project results and are these of real interest to stakeholders today or in the future? The tasks of a basin plan are according to the Water Act (BRASIL, 1997):

1. diagnosis of current situation;
2. analysis of demographic dynamics, development of productive activities, and land use changes;
3. future water supply and demand, including quantity and quality aspects, and potential conflicts;
4. targets for efficient water use, increasing quantity, and improving quality;
5. measures, programs and projects to address the previous targets;
6. priorities for assigning water use rights;
7. directives and criteria for water pricing;
8. proposals for creating conservation areas to protect water resources.

The project addresses several of these targets, at least partly. Since the studies have been set up neither to serve only the plan and the ongoing management of the basin, nor the management at the reservoir scale, some adaptation of the contents is necessary. This work is currently under way.

LESSONS LEARNED FROM COOPERATIVE PRACTICE

Exchange among scientists has revealed inspiring cases of contradictory results or conclusions. This clearly shows the value of a comprehensive project and its effective cooperative practice. The practice of interdisciplinary and transdisciplinary research does however involve cultural challenges and change, promoting debate about contradictions. This is common to scientific work, but not always feasible to this extent. A diverse group of disciplines broadens the potential divergences and new insights. Finally, a complex synthesis is better than forced consensus, as it profits from an integrated view and is better informed (DELGADO *et al.*, 2009).

Vocabulary commonly causes confusion in interdisciplinary cooperation. We were required to make

differences in definitions explicit, which led participants to deeply reflect on statements and meanings. Some linguistic pitfalls are:

- Technical or field-specific language: some terms are uncommon to almost all people unfamiliar with the respective discipline or even branch of discipline. Examples include “trophic upsurge” or “drawdown agriculture”.
- Simple words: while some scientists use words with their popular meaning in mind, others just make use of a very particular term. Thus, a “significant” difference can be understood as an apparently clear difference or a tested and approved statistical difference.

- Graduated differences: a term might be popular in one discipline, whereas in another the differentiation is not central to analysis. Examples are “participation” (ranging from asking stakeholders questions, to defining the degree of power and control of people involved in knowledge generation). Another example is “grazing intensity” (distinguishing more roughly light from heavy grazing, or analyzing e.g. stocking rates, along with inter-annual and species’ composition differences).
- Synonyms: words may be used interchangeable by some, while others attach clear, though maybe small, differences in their meanings. Such a word group is for instance: management, regulation, and control.
- Tradition: terms might be used according to major disciplinary traditions without specification. Talking about “scenarios” revealed that some were, per default, thinking in terms of forecasting, while others had back casting in mind.
- Geographical-cultural background: researchers originating from a temperate region learned that a “forest” is not necessarily characterized by a green, dense, and high vegetation cover, but that Caatinga, with its small and sparse vegetation, is also a forest though a dry one. International classification of land cover may however classify Caatinga as a savanna or even open area, leading to the assumption that the area is unused, which is often a false conclusion.
- Neutrality: a term in one discipline can have a neutral connotation, while in another it may

sound value-laden. The nutrient “load” of a lake is just the quantification of nutrients in limnology, sometimes attributed to water pollution, while in soil or plant sciences it may sound negative as especially “macro” nutrients are considered valuable and are often a scarce resource for plant growth and soil fertility.

Interacting with non-scientist partners, or those who briefly attended school, similarly calls for a clear formulation and awareness of potential differences in vocabulary. Furthermore, openness to new terms and different ways of reasoning and communicating is important. In general, conclusions should be drawn with a clear context-connotation. Awareness of the various probable effects, relations, and potential boundary problems is vital. These can result from choices concerning or relationships with:

- Spatial location: biophysical, socioeconomic, political or cultural differences;
- Sector: e.g. aquaculture, agriculture, energy, transport, or sanitation;
- Jurisdictional scale: local, municipal, regional, state, national, international;
- Temporal dynamics: sequence, speed of changes, length of period;
- Knowledge scale and type: historical, current and future, local and scientific;
- Value system: the researchers’ or stakeholders’ own discipline, previous research projects, socialization, and personal preferences and beliefs.

FINAL CONSIDERATIONS

The multi-disciplinary project reflects the still far more complicated and complex existing governance challenges of the São Francisco watershed: different perspectives and separate interests are being pursued, cooperation activities have been arranged, some members are temporary, and the overall integration is complicated. The sustainability paradigm draws attention to the dimensions of people, planet, and profit. Merely mentioning the complex interconnections and benchmarks is not enough.

How can people strategically and effectively deal with different aspirations and impacts? Possible approaches, for instance, are river basin development planning and management (RBDPM), integrated water resource management (IWRM), or strategic environmental assessment (SEA). An early RBDPM was attempted in the São Francisco watershed as early as 1948, with the founding of *Comissão do Vale do São Francisco*, and was promoted by international organizations (BARROW, 1998). Barrow concludes

from a range of early national examples that RBD-PM showed poor results in achieving integrated area development due to implementation and management flaws. More specifically, he criticizes focusing on single-purpose development in a too centralized setting while neglecting communication, lacking adequate data and often leadership, and not being sufficiently flexible and adaptive. McDonnell (2008) similarly acknowledges poor results of implementing IWRM, mentioning similar pitfalls as Barrow for RBDPM, though she concludes that a major pitfall is the purely techno-scientific approach of knowledge production and decision-making. She argues that the “networks and flows of power between the various actors/stakeholders involved with governance” are often neglected and that the complex challenges of integrated management need a concerted cooperation of different disciplines and stakeholders. SEA is still voluntary in Brazil, though the Ministry of Environment has recommended it for more than ten years for strategic decisions and there have been recent attempts to institutionalize it in federal plans and programs (MALVESTIO & MONTAÑO, 2013). Therefore, it appears appropriate to study the potential of methods related to SEA and IWRM to guide

the integrated management of the São Francisco watershed. Testing multi-criteria decision-making and identifying more clearly how to cope practically with integration seems useful for the future.

At stake is a conflict-sensitive adaptation to climate change and governance challenges. The nexus of competing sectorial demands, along with the attempt to balance social, economic, and environmental goals in a sustainability framework is regularly affected by the issues of equity and unfavorable power relations (KUMI *et al.*, 2014). The authors argue that proposals for solutions will fail as long as the undermining incidents, such as corruption, are not addressed. This is not only rather pessimistic, but also out of the scope of our type of research, though it is important to draw attention to the need for broader institutional and cultural change. A collaborative research project is not able to induce substantive changes in society, though small steps are being pursued. Finally, a substantial contribution might be capacity building for both the young and experienced scientists involved. This is especially true for those who took advantage of the additional offers and benefits and who contributed to resolving conflicts inherent to the comprehensive consortia work.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to acknowledge the commitment and contributions of the numerous members of the INNOVATE project during seminars, workshops, project conference, fieldwork sessions, and manifold discussions. We would like to thank a few colleagues as representatives. The preparation of this paper draws specifically on collaboration with Hagen Koch, Márcia Alcoforado Moraes, Arne Cierjacks, Jarcilene Almeida-Cortez, Roberto Azevedo, Volkmar Hartje, Sarah Gottwald, Maike Guschal, Verena Rodorff,

Gerald Souza da Silva, Heinrich Hagel, Anne Biewald, Maricela Rodriguez, Florian Selge, and Gérsica Silva. The work was supported by the German Ministry of Education and Research (BMBF; Sustainable Land Management program) as the INNOVATE project under grant number 01LL0904A, and the grants of the Brazilian Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI) as well as Brazil’s Council for Scientific and Technological Development (CNPq). Thanks to Kimberly Tatum for the English language revision.

REFERENCES

- AGAM TECNOLOGIA LTDA. & CHESF. Estudo Ambiental da Barragem de Itaparica - Usina Hidro Elétrica Luiz Gonzaga. Unpublished report, 2003.
- AGB PEIXE VIVO & CBHSF (Org.). Guardiões do Velho Chico. CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco, 2001-2011. Companhia de Comunicação, 2011.

ANA; GEF; PNUMA; OEA. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2004-2013): Síntese do Resumo Executivo do PBHSF com Apreciação das Deliberações do CBHSF. Brasília, 2004.

BARROW, C.J. River basin development planning and management: A critical review. *World Development*, v. 26, n. 1, p. 171–186, 1998. doi:10.1016/S0305-750X(97)10017-1.

BRAGA, B.P.F.; GONDIM FILHO, J.G.C.; SUGAI, M.R.v.B.; COSTA, S.V.d.; RODRIGUES, V. Impacts of Sobradinho Dam, Brazil. In: TORTAJADA, C.; ALTINBILEK, D.; BISWAS, A.K. (Org.). *Impacts of large dams: A global assessment*. Berlin: Springer, 2012, p. 153-170. (Water resources development and management). ISBN 3-642-23570-0.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília: DOU de 9.1.1997, 1997.

CERNEA, M.M. Involuntary resettlement: social research, policy, and planning. In: CERNEA, M.M. (Org.). *Putting people first: Sociological variables in rural development*, 2. ed. New York [etc.]: Oxford University Press, 1991, p. 188-215. ISBN 0-19-520465-4.

CHESF. Descrição do Aproveitamento de Luíz Gonzaga. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/LuizGonzaga.aspx>, n.y. Acesso em: 10 Jul. 2013

CODEVASF & FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Cenários prospectivos para os vales do São Francisco e do Parnaíba: 2009 a 2028. Brasília: CODEVASF, 2011. ISBN 978-85-89503-10-5.

DAILY, G.C.; POLASKY, S.; GOLDSTEIN, J.; KAREIVA, P.M.; MOONEY, H.A.; PEJCHAR, L.; RICKETTS, T.H.; SALZMAN, J.; SHALLENBERGER, R. Ecosystem services in decision making: Time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2009. doi: 10.1890/080025.

DELGADO, L.E.; MARÍN, V.H.; BACHMANN, P.L.; TORRES-GOMEZ, M. Conceptual models for ecosystem management through the participation of local social actors: The Río Cruces wetland conflict. *Ecology and Society* [online journal], v. 14, n. 1, p. 50, 2009.

EMBRAPA-SOLOS. Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2000. (Boletim de Pesquisa, 11).

EPPINK, F.V.; WERNTZE, A.; MÄS, S.; POPP, A.; SEPPELT, R. Land management and ecosystem services: How collaborative research programmes can support better policies. *GAIA*, v. 21, n. 1, p. 55-63, 2012.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.S.; ASNER, G.P.; BARFOR, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.; DAILY, G.C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.A.; KUCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; PATZ, J.A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005. doi:10.1126/science.1111772.

HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: RAFFAELLI, D.G.; FRID, C.L.J. (Org.). *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge [etc.]: Cambridge University Press, 2010. p. 110-139.

HOFF, H. Managing the water-land-energy nexus for sustainable development. *UN Chronicle*, XLIX, 1 & 2, 2012.

KARLBERG, L.; HOFF, H.; AMSALU, T.; ANDERSSON, K.; BINNINGTON, T.; FLORES-LÓPEZ, F.; BRUIN, A.; GEBREHIWOT, S.G.; GEDIF, B.; ZUR HEIDE, F.; JOHNSON, O.; OSBECK, M. Tackling complexity: Understanding the food-energy-environment nexus in Ethiopia's Lake Tana sub-basin. *Water Alternatives*, v. 8, n. 1, p. 710-734, 2015.

KOCH, H.; BIEWALD, A.; LIERSCH, S.; AZEVEDO, J.R.G.; SILVA, G.S.d.; KÖLLING, K.; FISCHER, P.; KOCH, R.; HATTERMANN, F.F. Scenarios of climate and land-use change, water demand and water availability for the São Francisco river basin. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, this issue.

KUMI, E.; ARHIN, A.A.; YEBOAH, T. Can post-2015 sustainable development goals survive neoliberalism? A critical examination of the sustainable development–neoliberalism nexus in developing countries. *Environment, Development and Sustainability*, v. 16, n. 3, p. 539–54, 2014. doi:10.1007/s10668-013-9492-7.

MA. MA Conceptual Framework. In: Island Press (Org.). *Millennium Ecosystem Assessment Report: Ecosystems and Human Well-being*. Washington, DC: Island Press, 2005.

MALVESTIO, A.C. & MONTAÑO, M. Effectiveness of strategic environmental assessment applied to renewable energy in Brazil. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 15, n. 02, p. 1340007, 2013. doi: 10.1142/S1464333213400073.

MANETA, M.; TORRES, M.; WALLENDER, W.; VOSTI, S.; KIRBY, M.; BASSOI, L.H.; RODRIGUES, L. Water demand and flows in the São Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 8, p. 1191–1200, 2009. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.008.

MCDONNELL, R.A. Challenges for Integrated Water Resources Management: How do we provide the knowledge to support truly integrated thinking? *International Journal of Water Resources Development*, v. 24, n. 1, p. 131–143, 2008. doi: 10.1080/07900620701723240.

MMA. Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

MOLLE, F. Water, politics and river basin governance: Repoliticizing approaches to river basin management. *Water International*, v. 34, n. 1, p. 62-70, 2009. doi: 10.1080/02508060802677846.

MOLLE, F.; WESTER, P.; HIRSCH, P. River basin development and management. In: MOLDEN, D. (Org.). *Water for food - water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. London, Colombo: Earthscan Publ; IWMI, 2007, p. 585-624. ISBN 978-1-8447-396-2.

MUTOKO, M.C.; SHISANYA, C.A.; HEIN, L. Fostering technological transition to sustainable land management through stakeholder collaboration in the western highlands of Kenya. *Land Use Policy*, v. 41, p. 110-120, 2014. doi:10.1016/j.landusepol.2014.05.005.

REED, M.S.; GRAVES, A.; DANDY, N.; POSTHUMUS, H.; HUBACEK, K.; MORRIS, J.; PRELL, C.; QUINN, C.H.; STRINGER, L.C. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 5, p. 1933-1949, 2009. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.01.001.

REED, M.S.; STRINGER, L.C.; FAZEY, I.; EVELY, A.C.; KRUIJSEN, J. Five principles for the practice of knowledge exchange in environmental management. *Journal of Environmental Management*, v. 146, p. 337-345, 2014. doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.021.

RODORFF, V.; ARAÚJO, G.; GOMES, E.T.A.; KÖPPEL, J.; SIEGMUND-SCHULTZE, M.; SOBRAL, M.C. Driving forces and barriers for a sustainable management of the Itaparica reservoir region - basic milestones towards a constellation analysis. In: GUNKEL, G.; SILVA, J.; SOBRAL, M.C. (Org.). *Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Editora Universitária, 2013. p. 254–268.

RODORFF, V.; SIEGMUND-SCHULTZE, M.; KÖPPEL, J.; GOMES, E.T.A. Governança da bacia hidrográfica do rio São Francisco: Desafios de escala sob olhares inter e transdisciplinares. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, this issue.

ROMANO, P.A. & CADAVID GARCIA, E.A. Policies for water-resources planning and management of the São Francisoc river basin. In: BISWAS, A.K.; CORDEIRO, N.V.; BRAGA, B.P.F.; TORTAJADA, C. (Org.). *Management of Latin American river basins: Amazon, Plata, and São Francisco*. Tokyo: The United Nations University, 1999. p. 245-271. ISBN 92-808-1012-X.

SIEGMUND-SCHULTZE, M.; RODORFF, V.; KÖPPEL, J.; SOBRAL, M.C. Paternalism or participatory governance? Efforts and obstacles in implementing the Brazilian water policy in a large watershed. *Land Use Policy*, v. 48, p. 120-130, 2015. doi:10.1016/j.landusepol.2015.05.024.

SILVA, G.S. & MORAES, M.M.G.A. Curvas de demanda pelos recursos hídricos dos principais usos consuntivos no Submédio da bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, this issue.

WESTIN, F.F.; SANTOS, M.A.; MARTINS, I.D. Hydropower expansion and analysis of the use of strategic and integrated environmental assessment tools in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews*, v. 37, p. 750–761, 2014. doi:10.1016/j.rser.2014.04.071.

WORLD BANK. Recent Experience with Involuntary Resettlement: Brazil - Itaparica. Document of the World Bank, Report No. 17544, 1998.

GOVERNANÇA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO: DESAFIOS DE ESCALA SOB OLHARES INTER E TRANSDISCIPLINARES

CHALLENGES OF MULTI-LEVEL GOVERNANCE IN THE SÃO FRANCISCO
WATERSHED: INTER- AND TRANSDISCIPLINARY PERCEPTIONS

Verena Rodorff

Doutoranda do Departamento de Avaliação Ambiental e Planejamento Ambiental da Universidade Técnica de Berlim, Alemanha.

Marianna Siegmund-Schultze

Doutora do Departamento de Avaliação Ambiental e Planejamento Ambiental da Universidade Técnica de Berlim, Alemanha.

Johann Köppel

Professor titular do Departamento de Avaliação Ambiental e Planejamento Ambiental da Universidade Técnica de Berlim, Alemanha.

Edvânia Torres Aguiar Gomes

Professora titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência:

Verena Rodorff – Universidade Técnica de Berlim – Departamento de Avaliação Ambiental e Planejamento Ambiental – Secr. EB5 – Straße des 17. Juni 145, 10.623 – Berlim, Alemanha – E-mail: verena.rodorff@tu-berlin.de

RESUMO

A Política Nacional de Recursos Hídricos prescreve um modelo descentralizado e participativo, donde os comitês se destacam com importantes contribuições na governança em escala de bacias. A posição do comitê nas decisões regionais da água é às vezes contraditória à das demais instituições. A presente pesquisa vincula perspectivas inter/transdisciplinares e multiníveis sobre a gestão sustentável da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e do reservatório Itaparica para identificar interfaces da escala local de uma bacia, a fim de promover boa governança. Com base na metodologia de análise de constelação, foram detectadas dinâmicas e barreiras nas quais se enfatizaram a pouca representatividade do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) na população local e a falha na interação entre as instituições locais de gestão de água. Algumas estratégias são vistas por participação da sociedade civil nos futuros subcomitês e no fortalecimento da escala local, por meio de capacitação e cooperação de atores do mesmo âmbito. Além disso, os instrumentos de planejamento estratégico e desenvolvimento trazem contribuição importante para o governo municipal.

Palavras-chave: análise de constelação; governança; gestão da água; bacia hidrográfica do Rio São Francisco; reservatório de Itaparica; Brasil.

ABSTRACT

The National Water Resources Policy prescribes a model of decentralization and participation. Committees stand out as a major contributor to the governance of basins. Its position in regional water decisions has been sometimes contradictory by other institutions. This study combines inter-, transdisciplinary and multi-level perspectives on sustainable water management of the whole São Francisco watershed and Itaparica reservoir region to identify entry points for promoting good governance at different scales. By applying constellation analysis, we detected drivers and barriers in water management. The São Francisco Watershed Committee is not sufficiently represented in the local population and also is not connected with local institutions for water management. Strategies are identified in the participation of sub-committees and in strengthening the local level by “bottom up” approaches. Therefore, strategic planning and development instruments carry an important contribution at municipal government scale.

Keywords: constellation analysis; governance; water management; São Francisco watershed; Itaparica reservoir; Brazil.

INTRODUÇÃO

O conceito de governança evoca diferentes acepções em distintos campos de conhecimento e contextos, sugerindo a emergência de um sistema de regras aceitas e legitimadas por um conjunto de indivíduos e/ou grupos em defesa de uma gestão transparente e imparcial de interesses coletivos. Para alguns autores, a governança é polissêmica, e sua aplicação em diversas perspectivas tem colaborado para o esvaziamento de sua proposta original, sendo empregada no meio corporativo de maneira desvirtuada a ponto de possibilitar que alguns necessitem adjetivar o conceito como boa governança, na hipótese de combater a outra governança (OSMONT, 1998). A multiplicidade do uso do termo *governança* ou o seu excesso polissêmico esvazia o conteúdo, conforme afirmado por Gaudin (2002). Trabalhar governança implica inevitavelmente enfrentar desafios ideológicos. Desafios, mais que nunca na contemporaneidade, a se enfrentar de modo desigual perante as principais organizações internacionais defensoras do paradigma do pós-desenvolvimento: Banco Mundial (BM), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Jessop (1998) destacou a expressão *governança* remetendo originariamente a um esforço para pensar em formas de coordenação da ação coletiva como alternativa às leis do mercado e da hierarquia política convencional.

Diante do exposto e considerando que a bacia é um território, no sentido de ser uma parcela de terra definida por conformação físico-natural, adota-se neste artigo o conceito de governança territorial. Esse tipo de governança acontece por intermédio da ação de diferentes atores nas instituições e organizações da sociedade civil por redes sociais e territoriais (DALLABRIDA & BECKER, 2003). Ou seja, resulta da conformação, do conteúdo e dos processos vinculados aos interesses, bem como dos usos múltiplos dos recursos hídricos da bacia, na perspectiva geossistêmica que vem ao encontro dessa compreensão. Parte-se do princípio da finalidade pública da gestão da bacia, a fim de, nesse sentido, propiciar as distintas formas de regulação social, para além de um modelo hegemônico ditado pelas forças do mercado, visualizando o estado não como adversário, nem apenas como um fornecedor (de serviços), mas sim como parceiro em seus diferentes níveis de governo; reabilitando o local como o lugar da ação

econômica e ambiental, assim como da valorização da dimensão cívica como promotor da mudança na relação sociedade-natureza. Isso quando se trata da relação indissociável das escalas desse local ao municipal, estadual, regional, nacional e até global.

O objetivo deste artigo foi colaborar para a discussão acerca das possibilidades e dos limites de gestão da bacia segundo a perspectiva da governança territorial, confrontando-a com as realidades sociais e os aportes teórico-científicos, focando na análise social empírica do reservatório Itaparica, no contexto da bacia hidrográfica do São Francisco. Os insumos utilizados aqui remetem-se à revisão documental, à historiografia, à pesquisa participante, bem como à realização de análise de conteúdos de depoimentos, entrevistas e reuniões feitas sob a forma de oficinas. Logo, este artigo encontra-se estruturado contendo sínteses e ideias principais processadas com base nesse material.

A análise da gestão da bacia compreende a identificação e o acompanhamento dos elementos naturais e sociais, envolvendo, por exemplo: impactos sociais e ambientais causados por reassentamentos (BUI *et al.*, 2013), mudanças no nível do rio, variações e regimes do fluxo, alterações nas propriedades físico-químicas, temperatura da água, geomorfologia e biodiversidade (POFF *et al.*, 1997). Autores como Beekman (2002) mencionam o capital próprio, a eficiência, a tomada de decisão participativa, a sustentabilidade e a responsabilidade como base de temas para a compreensão da gestão de bacia. Um sistema de gestão para uma bacia deve se estabelecer de forma *bottom-up* e ter ligação com o governo local (BUTTERWORTH *et al.*, 2010). Em conformidade com McDonnell (2008), o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos deveriam considerar os usos múltiplos e seus objetivos em uma bacia hidrográfica, nomeadamente na gestão econômica, como também os objetivos sociais e ambientais, que envolvem tanto a coordenação com outras áreas e diferentes níveis de governo como também as partes interessadas em um processo de tomada de decisão.

A gestão de bacias hidrográficas contemplando a busca de soluções e de planejamento sistemático e efetivo é de grande importância sobretudo em áreas com déficit hídrico significativo, conforme apontado no relatório do *Global Water Partnership* (2011). Cenário de

déficit significativo como o que marca a Região Nordeste, especialmente caracterizada pelo regime BSh de Köppen, diferenciada como semiárido, na qual se situa de modo preponderante o recorte territorial ora investigado. Mudanças globais, climáticas e socioeconômicas resultam em novos desafios para a gestão da água e de bacias, que deve integrar a gestão participativa e adaptativa (PAHL-WOSTL *et al.*, 2008). Existe a necessidade de governança da água nas bacias hidrográficas em todo o mundo para a adoção de políticas públicas que possam garantir a existência de recursos naturais e a produção sustentável de recursos e serviços. O conceito de gestão integrada de recursos hídricos (*Integrated Regional Water Management – IRWM*), definido pelo GWP (2000), foi aprovado na diretiva europeia de recursos hídricos, para realinhar suas estratégias de gestão de água em escala de bacia em todos os países-membros (MOLLE, 2009). O conceito abrange o “desenvolvimento e a gestão coordenada da água, terra e os recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social resultante de uma forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais” (GWP, 2000).

A bacia do Rio São Francisco engloba esse conjunto de aspectos relacionados nos parágrafos anteriores, demandando esforços no sentido de somar inteligências e experiências para aportar sustentavelmente para sua gestão. Uma grande parte do volume da água desse rio tem o seu uso destinado à geração de energia elétrica, comportando complexos de engenharia destinados a essa finalidade, tais quais usinas hidrelétricas e reservatórios. Entre os seus múltiplos usos, salientam-se abastecimento e prática de distintas atividades econômicas, como: a agricultura, com destaque para a agricultura irrigada, a piscicultura, como também o uso para a geração de energia (SOBRAL *et al.*, 2007). A complexidade desses múltiplos usos na escala de um extenso e importante rio como o São Francisco envolve de maneira proporcional diferentes modalidades de usuários nos segmentos público e privado com seus específicos gradientes de interesse e respectivas formas de intervenção vinculadas a esses interesses. A magnitude da referida bacia em seus múltiplos usos compete em nível de importância com a matriz energética nacional.

Denominado de rio de integração nacional, o São Francisco banha sete estados brasileiros e abrange 16,6 milhões de pessoas (IBGE, 2013; SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*,

2015). A referida bacia tem o seu sistema hidrológico impactado por esses múltiplos usos e particularmente por nove usinas, entre elas a Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga e seus respectivos equipamentos e reservatórios, tais como o reservatório de Itaparica, objeto deste artigo (LYRA *et al.*, 2007; BRAGA *et al.*, 2012). No Brasil, a Lei federal n.º 9.433, emitida em janeiro de 1997, fornece os elementos para a consideração de múltiplos usos da água, a participação pública, a outorga e cobrança de licenças de água, encargos e controle (BRASIL, 1997). A reforma legal e institucional forneceu a plataforma para a implementação da gestão integrada dos recursos hídricos no campo (BRAGA & LOTUFO, 2008), criando comitês de grande escala e transfronteiriços por vários estados no Brasil. Na governança da gestão da água na bacia do Rio São Francisco se destacam a relação e o desenvolvimento do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), ilustrando a atualidade depois de uma integração na governança após uns 10 anos na sua existência.

O estudo de caso mostra as tomadas de decisão e específica o papel do CBHSF em escala da bacia hidrográfica, além de representar na escala local as barreiras e principais forças motrizes na gestão da água e governança. A perspectiva da escala local, como no exemplo do reservatório de Itaparica, no submédio da bacia do Rio São Francisco, manifesta a complexidade e variedade de atores ligados a vários níveis dos governos federal, estadual e municipal, também por legislação, por planos e programas.

Apesar da implementação de uma gestão integrada da água, por intermédio da criação de um comitê participativo, constata-se um quadro desafiador para a sua materialidade e operacionalização. O arcabouço jurídico da água como recurso natural e sua política no Brasil, prioritariamente na escala federal, sucedidos de um maior detalhamento no âmbito estadual, concretizam-se na dimensão do município, com suas especificidades, tendo como máxima que a gestão da água e o acesso à água limpa são critérios importantes em todos os níveis. Tendo em vista que em cada um desses níveis existe uma malha de interesses de multiusuários diversos e a necessidade de contemplação de distintos interesses sociais, econômicos e institucionais, de acordo com uma política de crescimento social e econômico, reside nesse nó o desafio de dar transparência

a cada um desses papéis e visualizar a forma estratégica e tática de gestão.

Para esse efeito, há a necessidade de compreender a governança por meio de diferentes níveis e pontos de vista de conhecimento. Acredita-se que a análise de constelação (SCHÖN *et al.*, 2007; BRUNS *et al.*, 2011) é uma ferramenta importante no sentido de identificar e buscar os processos e conteúdo que deveriam se articular entre si e os mecanismos utilizados na práxis em suas distintas formas de atuação na bacia. Pesquisas de sustentabilidade reivindicam abordagens inter

e transdisciplinares (JAHN *et al.*, 2012; LANG *et al.*, 2012). Na dimensão metodológica a análise de constelação abrange todos os elementos naturais e jurídico-normativos e o conjunto de relações sociais na produção da vida humana. Nesse sentido, registra também intervenções, o sistema de planejamento e o enquadramento jurídico, usados em processos reflexivos, inter e transdisciplinares. Para efeito de uma construção dialógica da gestão e governança, optou-se empiricamente pelo recorte do reservatório Itaparica, da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga.

ARRANJO INSTITUCIONAL NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

A Lei n.º 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, trouxe grandes avanços na descentralização por intermédio da participação pública, da transparência de informações e da criação de agências de água (BRASIL, 1997). A criação dos comitês de bacias hidrográficas surgidos com base na mesma lei representou um caminho institucional e democraticamente participativo para tal fim. Nesse contexto, o CBHSF, fundado em 2002, teve por finalidade realizar a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos da bacia, na perspectiva de proteger os seus mananciais e contribuir para o seu desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). O CBHSF conta com a participação de representantes dos usuários da água de distintos segmentos do poder público, da sociedade civil e das comunidades tradicionais (BRASIL, 1997; 2010; CBHSF, 2014) e vem convertendo-se numa instância de coordenação transversal e transetorial no controle dos processos. A Agência Nacional de Águas (ANA) tem contribuído na construção desse comitê, mediante a Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), pertencendo ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e sendo, portanto, o órgão executivo da Política Nacional de Recursos Hídricos. Suas funções incluem a regulação do uso de corpos d'água, rios e lagos, localizados dentro da União, entre pelo menos dois estados do Brasil, e dos procedimentos de licenciamento e monitoramento (BRASIL, 1997).

A diretoria colegiada do CBHSF está estruturada por mandatos de líderes da diretoria executiva (três) e das Câmaras Consultivas Regionais (quatro) (SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2015). Esses líderes têm mandatos sobrepostos e são eleitos a cada três anos por eleição direta, na sessão plenária do comitê, que conta com a

participação dos 62 membros com mandato direto nas decisões, ou por substitutos. Eles defendem e promovem os seus interesses e as suas ideias quanto à sustentabilidade dos recursos hídricos e do meio ambiente. Os principais objetivos do órgão incluem mecanismos de cobrança pelo uso de água e também a aprovação e o acompanhamento do Plano de Recursos Hídricos da bacia segundo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGERH), da Lei n.º 9.433/97, bem como a revitalização de toda a área de captação da bacia e o saneamento básico para as comunidades e o abastecimento público da água. A Política de Recursos Hídricos em escala da bacia hidrográfica deve ser implementada pelas atividades do comitê, o qual é dirigido por um presidente e um secretário e composto por diversas câmaras. As câmaras técnicas são comissões temáticas compostas por especialistas encarregados de examinar e relatar assuntos de sua competência, e as câmaras consultivas regionais (CCR), quatro (alto, médio, submédio, baixo) no caso do CBHSF, atuam na sua região respectiva. Por sua vez, todos são nomeados pelos membros do comitê. O CBHSF está ligado ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que é um órgão colegiado pelo MMA, e pela Lei n.º 9.433/97 implementa a gestão dos recursos hídricos no país (BRASIL, 2003). O CNRH aprova propostas das instituições de comitês de bacias hidrográficas e também o Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). É representado por ministérios e secretarias da presidência da república, com atuação no gerenciamento e no uso de recursos hídricos; pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; e por usuários e organizações civis de recursos hídricos. O conselho é formado por 57 membros com mandato de três anos cada.

Em 2010, a Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo (AGB Peixe Vivo) foi escolhida por concurso público para exercer as funções do órgão executivo do CBHSF, que tem suas funções definidas pela Lei Nacional da Água. A agência é responsável pela aplicação de medidas com os recursos obtidos pela cobrança do uso da água do rio. Nessas medidas estão atualmente os projetos de revitalização (projetos

hidroambientais) e a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica, entre outros (CBHSF, 2014). O primeiro Plano da Bacia Hidrográfica foi executado pela ANA e elaborado para os anos de 2004 a 2013 (ANA *et al.*, 2004). O lançamento do plano atual (renovação, continuação e avaliação do primeiro plano) está previsto para 2016, quando o comitê é responsável pelas normas de conteúdo, mas pode também pedir assistência da ANA.

METODOLOGIA

A metodologia da análise de constelação foi conceitualmente desenvolvida pelos cinco autores do livro *Handbuch Konstellationsanalyse*, no Centro de Tecnologia e Sociedade da Universidade Técnica de Berlim, Alemanha (SCHÖN *et al.*, 2007). No âmbito do projeto binacional (Alemanha/Brasil) de pesquisa se está testando e adequando esse método na gestão ambiental no Brasil (RODORFF *et al.*, 2013a; SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2013).

A análise de constelação usa quatro tipos de elementos e diferentes relações entre eles (Figura 1). A distinção é feita entre os elementos naturais e técnicos, atores e o sistema de leis, projetos e programas. As relações são descritas como direcionadas ou

não direcionadas, inibitórias, conflituosas ou podem até não existir (SCHÖN *et al.*, 2007). Os elementos e as suas relações são identificados em oficinas por intermédio de discussões de grupos ou em entrevistas com pessoas, e são continuamente modificados de modo iterativo (RODORFF *et al.*, 2013a).

Esse conceito destina-se a todas as escalas de governança, compreendendo atores principais, influências e instrumentos formais e informais, bem como elementos ambientais. Nesse contexto, as condições básicas institucionais legais da bacia são apresentadas para depois entrar nas visões inter e transdisciplinares em todas as escalas.

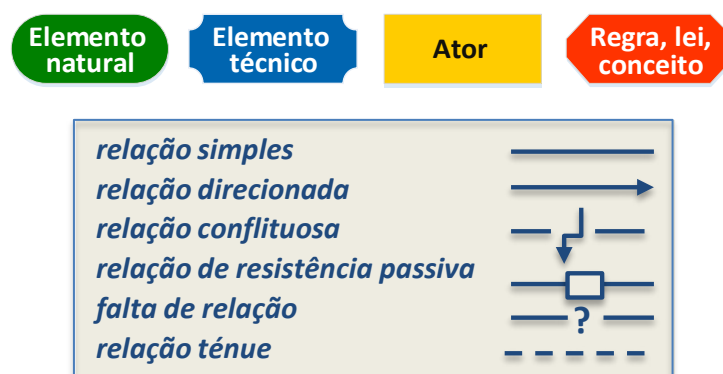


Figura 1 – Os elementos da análise de constelação e relações, adaptados de acordo com Schön *et al.* (2007) e Rodorff *et al.* (2013a).

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS EM ORDEM CRONOLÓGICA

Todas as informações deste estudo foram coletadas e avaliadas segundo o processo iterativo entre o fim de 2012 e o início de 2014 (Tabela 1), tendo sido alternadas com estudos de campo e com pesquisas de gabinete. Os procedimentos utilizados para esta investigação foram da revisão bibliográfica à coleta por entrevistas, oficinas de trabalhos inter e transdisciplinares, discus-

sões em grupos e visitas no campo e em plenárias. Além disso, foram comparados os resultados das oficinas inter e transdisciplinares por observações.

As entrevistas realizadas com as pessoas e instituições tiveram a finalidade de coletar informações do meio ecológico e técnico e das dinâmicas entre os partici-

Tabela 1 – Diálogos com atores sobre governança e gestão da água.

N.º	Instituição	Área	Tipo de diálogo/data e lugar
1	Cientistas da água, mudanças climáticas e modelagem da Universidade Técnica de Berlim, <i>Potsdam Institute for Climate Impact Research</i>	Análise de constelação: bacia hidrográfica e aspectos regionais	Oficina de trabalho interdisciplinar (grupo de cinco pessoas)/2013, Berlim, Alemanha
2	Cientistas da água da Universidade Técnica de Berlim, Instituto de Ecologia das Águas Doces e Pesca	Análise de constelação: Gestão da água do reservatório, impactos ambientais	Oficina de trabalho interdisciplinar (grupo de cinco pessoas)/2013, Berlim, Alemanha
3	Funcionário técnico de Itaparica da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf); Secretaria de Aquicultura e Pesca de Petrolândia; representante da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa); Noble, empresa privada para agricultura; engenheiro de pesca do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA); Conselho Pastoral da Pesca; Associação de Retalhistas de Produtos Biológicos (Arbio); representante do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST); pescadores da pesca artesanal e da piscicultura	Análise de constelação: Gestão da água no reservatório	Duas oficinas de trabalho transdisciplinar (três grupos de seis pessoas)/2013, Itaparica, Brasil
4	Cientistas e técnicos da água das universidades Federal e Rural de Pernambuco e Universidade do Estado da Bahia do <i>campus</i> de Paulo Afonso; representante da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH); representante da Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac); bióloga e representante da Agência Nacional de Águas (ANA); representante da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)	Análise de constelação: gestão da água no reservatório	Oficina de trabalho inter e transdisciplinar (dois grupos de seis pessoas)/2013, Recife, Brasil
5	Cientistas da água e engenheira ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Universidade de Pernambuco (UPE); bióloga e representante da ANA; funcionária da entidade Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e cientista de modelagem; representante do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI); funcionário da Secretaria de Cidadania e Desenvolvimento Social (Secid)	Análise de constelação: gestão da água na bacia do Rio São Francisco	Oficina de trabalho inter e transdisciplinar (grupo de seis pessoas)/2013, Recife, Brasil
6	Chesf (Departamento do Empreendimento Itaparica)	Gestão do reservatório história e desafios	Entrevista/2012, Recife, Brasil
7	Chesf Itaparica (divisão executiva do sistema Itaparica)	Gestão do reservatório história e desafios	Entrevista/2012, Itaparica, Brasil
8	Funcionário técnico do IPA	Funções e atuação na região de Itaparica	Entrevista/2012, Petrolândia, Brasil

CONTINUA...

Tabela 1 – Continuação.

N.º	Instituição	Área	Tipo de diálogo/data e lugar
9	Diretor da região Itaparica do Polo Sindical	Funções e atuação na região de Itaparica	Entrevista/2012, Itaparica, Brasil
10	Presidente do Sindicato dos Trabalhadores Rurais (STR) de Petrolândia	Funções e atuação na região de Itaparica	Entrevista/2012, Petrolândia, Brasil
11	Funcionário técnico da Compesa de Itacuruba	Funções e atuação na região de Itaparica	Entrevista/2012, Itacuruba, Brasil
12	Prefeito de Petrolândia	Funções, desafios e atuação na região de Itaparica	Entrevista/2012, Petrolândia, Brasil
13	Piscicultor de Itacuruba	Desenvolvimento da piscicultura e legislação	Entrevista/2013, Itacuruba, Brasil
14	Funcionária técnica da ANA	Água e política nacional	Entrevista/2013, Brasília, Brasil
15	Cientista de políticas hídricas da Universidade de Brasília	Política da água e comitês	Entrevista/2013, Brasília, Brasil
16	Diretor técnico da Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo (AGB Peixe Vivo)	Administração da bacia do São Francisco, funções da agência e do comitê	Entrevista/2013, Belo Horizonte, Brasil
17	Cientista de geoquímica geomorfologia e recursos hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	Pesquisa de solos e sedimentos na bacia e nos reservatórios (MG)	Entrevista/2013, Belo Horizonte, Brasil
18	Funcionário técnico de Três Marias da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF)/afluente	Energia hidráulica e função no comitê	Entrevista/2013, Três Marias, Brasil
19	Representante da organização não governamental (ONG) Consórcio dos Municípios do Lago de Três Marias (Comlago) e funcionário técnico de saneamento do município de Três Marias (MG)	Representante da sociedade civil e representante do poder público	Discussão de grupo/2013, Três Marias, Brasil
20	Diretoria da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco (Codevasf), de Petrolina	Agricultura irrigada, reservatório Sobradinho	Entrevista e discussão (grupo de seis pessoas)/2013, Petrolina, Brasil
21	Cientistas em solos e recursos hídricos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)	Pesquisa na bacia e no reservatório Sobradinho	Entrevista e discussão (grupo de cinco pessoas)/2013, Petrolina, Brasil
22	Membro do CBHSF, do IRPAA e da CCR do Submédio do São Francisco	Membro no CBHSF e do Submédio do São Francisco	Entrevista/2013, Petrolina, Brasil
23	CBHSF	Atuação do CHBSF e membros nas plenárias, governança	Visita da plenária/2013, Recife, Brasil

pantes e o meio ambiente territorial da bacia hidrográfica. A revisão bibliográfica e especialmente documental acerca da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga e o reservatório de Itaparica, acrescida do conteúdo que deu substrato ao Projeto Innovate, possibilitou a construção de um esquema provisório dos grandes sistemas a serem trabalhados, identificando as especificidades nos diferentes segmentos público e privado, bem como no que diz respeito às instituições, às normas e aos dados sociais econômicos e ambientais.

Pré-análises de constelações foram construídas durante oficinas interdisciplinares com diferentes acadêmicos e técnicos do projeto nos anos de 2012 e 2013 (RODORFF *et al.*, 2013a). As entrevistas foram concebidas para caracterizar os sistemas naturais relacionados à bacia e aos ambientes impactados por objetos técnicos e de engenharia, oriundos dos sistemas artificiais. Além disso, delimitaram-se os sistemas normativos e o sistema socioeconômico, compreendendo os dados demográficos, culturais, políticos e sociais no desenvolvimento dos últimos 30 anos da região de Itaparica, como também no conceito de governança da bacia. No seguimento das pré-análises e entrevistas, escolheram-se alguns atores-chave para participar das oficinas, inter e transdisciplinares. Eles foram selecionados por setores da região e da bacia (hídrico, agricultura, piscicultura, abastecimento e esgoto, do setor público em geral), de instituições-chave de todos os níveis (ANA, Companhia Hidrelétrica do São Francisco – Chesf, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf, secretarias, Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa, entre outros) e por meio das visitas no campo. As discussões de grupo aconteceram em Brasília, Belo Horizonte, Três Marias, Petrolina e no Recife com membros do comitê da bacia, políticos, gestores, cientistas, irrigantes, representantes do setor hidroelétrico e de organizações não

ANÁLISES INTER E TRANSDISCIPLINAR

Para as análises inter e transdisciplinares sobre a gestão da água foram escolhidas duas imagens diferentes para visualizar a participação de vários níveis e a troca de conhecimento no processo iterativo da análise de constelação. A primeira imagem (Figura 2) mostra a síntese das duas oficinas na região de Itaparica com o poder público, a sociedade civil, representantes do setor da agricultura e piscicultura, além

governamentais (ONGs) e outros atores de distintos setores e escalas. Optaram-se por eles por meio da base de dados do CBHSF e da análise dos atores principais da bacia hidrográfica, com o objetivo de refletir os desafios na governança da bacia.

Três grandes oficinas foram realizadas de forma inter e transdisciplinar em abril e maio de 2013 na região de Itaparica (Pernambuco) e na cidade do Recife. Duas ocorreram com atores da região de Itaparica (agricultores, pescadores, reassentados, poder público), e a terceira teve a participação de instituições federais, estaduais e pesquisadores no Recife. Cada oficina foi dividida em quatro ou cinco grupos de cinco a sete pessoas, com um moderador e um assistente para tomar notas. Os temas incluíram: as constelações da gestão da terra e agricultura, a gestão da água e piscicultura e a gestão da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. As perguntas-chave durante as oficinas de trabalho no âmbito da água foram:

1. Quais são os aspectos que apoiam ou agravam o uso da água na região de Itaparica?;
2. Quais são os aspectos que apoiam ou agravam a gestão da bacia do São Francisco?

Os resultados foram descritos por perspectivas diferentes e aprofundam os desafios na gestão, as influências e os efeitos nas escalas. Recebidos pelo uso da ferramenta da análise de constelação, submeteram-se tais resultados à análise inter e transdisciplinar, a qual é explicada a seguir com mais detalhes.

Finalmente, dos vários relacionamentos e do posicionamento dos elementos na constelação, pôde-se desenvolver algumas conclusões para possíveis soluções, as quais estão discutidas nas considerações e propostas de estratégias para a gestão da água.

da pesca tradicional. A segunda (Figura 3) integra elementos da primeira imagem, mas abre a perspectiva de forma interdisciplinar com pesquisadores da área de recursos hídricos. Os participantes das oficinas resolveram iniciar as constelações dividindo-as em três ou quatro constelações menores para depois interligá-las com elementos que eram comuns às constelações, tornando os subtópicos (Tabela 2)

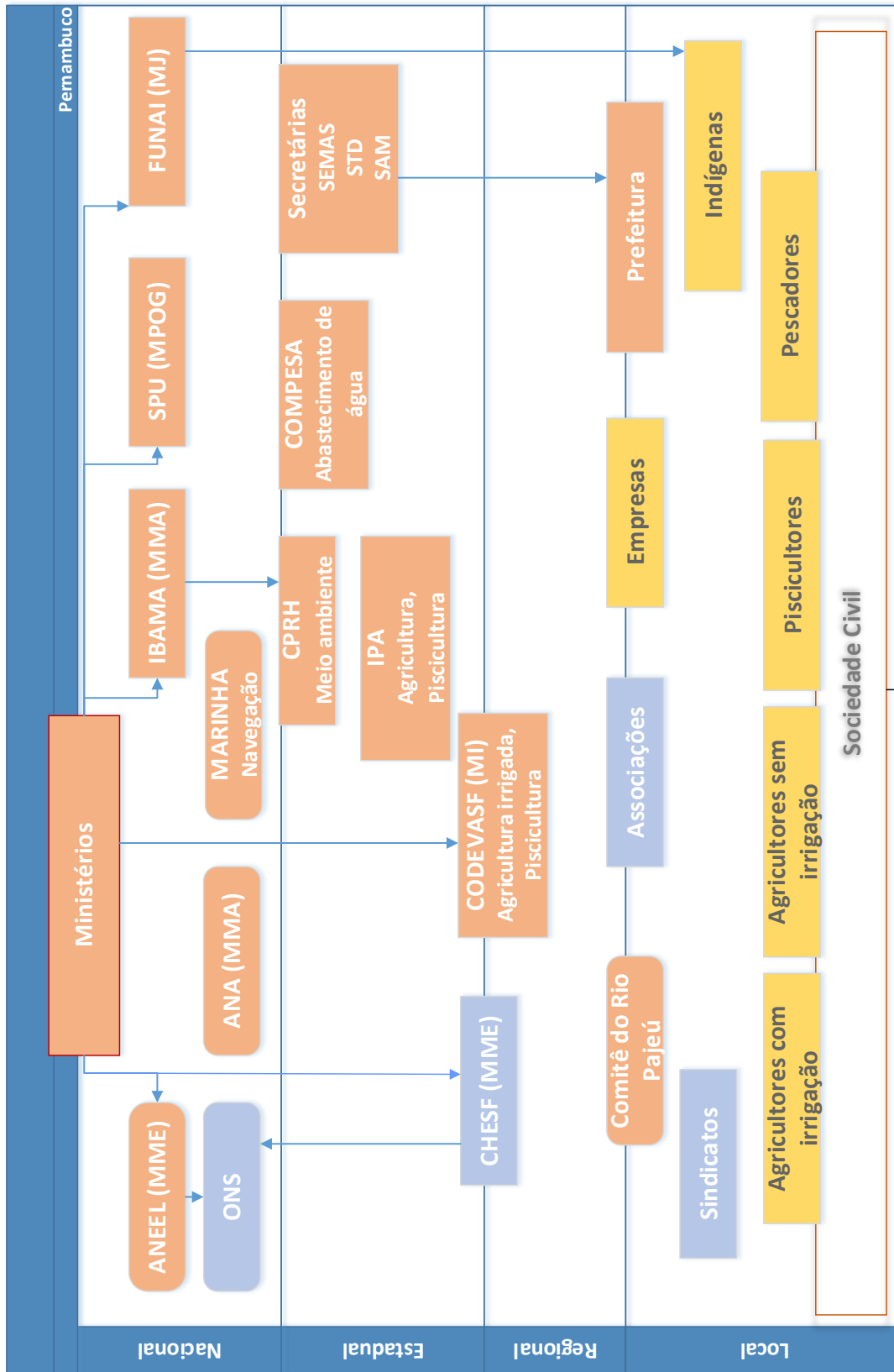


Figura 2 – Desafios na gestão do reservatório de Itaparica (PE) na perspectiva transdisciplinar, escala local, em 2013.

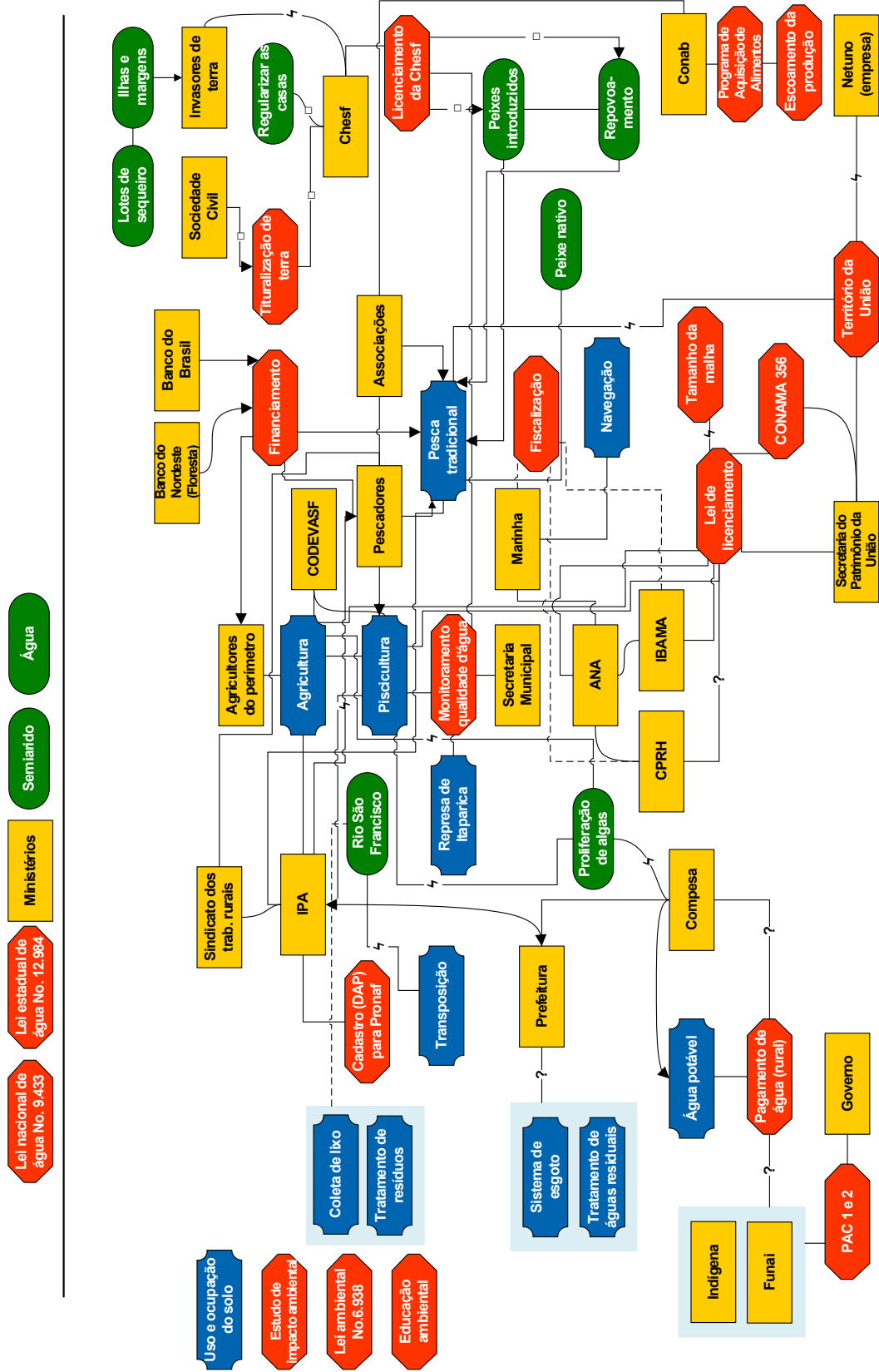


Figura 3 – Desafios na gestão do reservatório de Itaparica nas perspectivas inter e transdisciplinar, escalas nacional e estadual, em 2013.

uma grande constelação interligada denominada de constelação da gestão da água.

Gravaram-se e avaliaram-se as oficinas por elementos, sua posição na constelação e seus relacionamentos. Declarações recorrentes foram coletadas tabularmente e resumi-

das em uma síntese. As entrevistas realizadas para caracterizar os sistemas por elementos e as relações fornecem mais conclusões no contexto da situação atual. Pela estrutura iterativa das entrevistas e das oficinas, o foco foi colocado sobre aspectos essenciais, os quais no decorrer foram reforçados, questionados, sensibilizados ou estendidos.

Tabela 2 – Subtópicos e número de elementos trabalhados nas oficinas inter e transdisciplinares por escala.

Constelação	Local (Itaparica, Bahia, Brasil)	Regional/Nacional (Recife, Pernambuco, Brasil)
Subtópicos	Gestão da água na piscicultura e agricultura	Gestão da água na piscicultura
	Gestão da pesca tradicional	Gestão da água na agricultura
	Gestão da água no espaço urbano de Petrolândia, Pernambuco, Brasil	Gestão da água no espaço urbano de Petrolândia, Pernambuco, Brasil
	Gestão das terras da Chesf	
Elementos totais	64	77

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo iterativo da análise de constelação foram elaboradas figuras que apresentam a complexidade do sistema da governança na gestão da água nos diferentes níveis, resultado dos múltiplos usos do rio, influenciados pela política, economia, sociedade e tecnologia, bem como pelo próprio meio ambiente, que se caracteriza,

por exemplo, pelo clima semiárido e especialmente pelas secas no Nordeste. As visualizações são o resultado de participações inter e transdisciplinares. A gestão da água no reservatório de Itaparica foi considerada nos seus elementos e abstraída no contexto holístico da governança da gestão da água na bacia do Rio São Francisco.

Desafios na gestão da bacia hidrográfica (usos, efeitos e fatores de influência)

A análise salienta os desafios e as possibilidades de complementação ou fortalecimento dos principais agentes e os arranjos de governança do CBHSF. As dinâmicas entre os atores que influenciam os planos e projetos são abordadas sob a perspectiva de conteúdos, no âmbito legal e técnico-administrativo. Na análise se encontra uma interação entre os atores do comitê e as instituições colegiadas. Entre os múltiplos usos e usuários, destacam-se o abastecimento de água para consumo humano, a geração de energia hidroelétrica, a navegação, a irrigação, a piscicultura e pesca, a mineração, a indústria e a diluição de efluentes (SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2015).

Por conta da diversidade socioecológica da região, ainda existem alguns desafios a serem considerados relacionados ao comitê. O Rio São Francisco, com cerca de 2.700 km de extensão, percorre desde o sul do es-

tado de Minas Gerais e Goiás até o Nordeste do Brasil, donde corta os estados da Bahia, de Pernambuco, do Alagoas e de Sergipe. Além desses estados, o Distrito Federal também faz parte da bacia hidrográfica (ANA *et al.*, 2004b). Hábitos histórico-culturais e períodos de mandatos presidenciais marcaram a política, a economia e as tendências socioeconômicas de cada região. O contraste acentua-se pela diversidade climática, geográfica e da vegetação. Os parâmetros naturais são particularmente afetados por estações chuvosas e secas, tais como descargas adicionais para o meio aquático por influências antropogênicas. Essas influências têm impacto significativo tanto no ecossistema como no seu desenvolvimento e também na sua governança.

Como consequência desses usos, o aumento das cargas de nutrientes por escoamento de retorno para a água

dos reservatórios pode causar eutrofização (FIGUEIRÉDO *et al.*, 2007; GUNKEL & SOBRAL, 2012) e conduzir ao crescimento de algas (COSTA *et al.*, 2006), o que provoca grande impacto sobre a biodiversidade e o ecossistema da água (POMPEU *et al.*, 2005; PÖTHIG *et al.*, 2010). Outros elementos poluentes presentes são os metais pesados advindos de resíduos de mineração e das indústrias. Particularmente, o setor agrícola tem impacto significativo no solo e nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica (PÖTHIG *et al.*, 2010). Diversos conflitos podem surgir, dependendo da quantidade e do controle desses elementos nas águas (ENTREVISTA 17, 2013). Além de todos esses fatores, as barragens e os reservatórios influenciam no fluxo do rio. A bacia tem nove usinas hidrelétricas (BRAGA *et al.*, 2012) e três grandes reservatórios. A maioria está sob a responsabilidade da Chesf. O fluxo de água de cada barragem é determinado pelas instituições do governo federal e por operadoras hidroelétricas (Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, ANA, Chesf, Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig). As decisões tomadas podem afetar a matriz energética e o ecossistema de toda a bacia hidrográfica.

A maioria do serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário em cidades é realizada por empresas estaduais, como, por exemplo, a Compesa, em Pernambuco, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) e a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa). Nas zonas rurais, as prefeituras são responsáveis por realizar o serviço. Os planos para o saneamento básico nos municípios são fornecidos com os recursos obtidos pela cobrança da água.

Nas oficinas da análise de constelação foram citadas duas usinas termelétricas pequenas, localizadas no baixo do rio, porém o seu efeito é considerado insignificante sobre a temperatura da água. Em geral, a temperatura da água é mais afetada pelas indústrias: setor de mineração e usinas hidrelétricas. Existe, porém, por parte dos

Gestão da água no reservatório

As Figuras 3 e 4 visualizam os vários atores de diferentes escalas de governança no reservatório de Itaparica e as suas respectivas ligações das perspectivas inter e transdisciplinar. A Tabela 2 mostra as abordagens de subtópicos na escala local em comparação com o regional/nacional. Conforme a quantidade de elementos

participantes das oficinas interdisciplinares grande preocupação no tocante aos impactos do planejamento e da implementação de usinas nucleares. Estão previstas, em despacho governamental pelo Ministério da Integração, várias usinas nucleares para a bacia hidrográfica (EPE, 2007; CABRAL & BARBOSA, 2014). Outro fator de influência significativa acerca da temperatura da água é o próprio clima semiárido no Nordeste. Secas recorrentes afetam principalmente as regiões de Pernambuco e da Bahia, no Nordeste, sendo intensificadas pela perda de água em função da evapotranspiração geral nessas regiões (CGEE, 2009) e da evaporação dos seus reservatórios. O clima influencia fortemente a agricultura e a quantidade de água disponível para irrigação e geração de energia (BRASIL, 2005). Além disso, os projetos de transposição do Rio São Francisco (BRASIL, 2004) têm provocado discussões pertinentes concernentes ao ecossistema e à sua sustentabilidade, à quantidade de água e à socioeconomia microrregional e nacional. O processo de tomada de decisão, no que se refere ao projeto de transposição, foi negociado sem ter levado em conta o posicionamento contrário ao projeto do comitê pelo CNRH e iniciado pelo Ministério da Integração. O processo de participação foi questionado e criticado por todas as escalas (ENTREVISTA 15 & 16, 2013).

As perguntas essenciais para a gestão da água da bacia prendem-se tanto com a influência do clima e as mudanças climáticas tal como com o desenvolvimento demográfico e suas demandas por energia e água. Quanta água pode ser retirada do rio e dos reservatórios? Quem decide e controla a extração de água e suas descargas? O que acontece quando ocorrem fenômenos naturais que causam estados de emergência, em destaque as secas? Que poder é atribuído ao CBHSF no planejamento de novos projetos de maior dimensão e qual é a relação na atuação da continuação de projetos (*follow-up*), tais como barragens e reservatórios e seu entorno? (RODORFF *et al.*, 2013b; 2015).

identificados, há tendência de aumento em elementos técnicos e nos símbolos na perspectiva interdisciplinar em escala nacional. Com as oficinas de trabalho realizadas juntamente com os resultados das entrevistas, surgiram vários pontos de vista entre elas em comum, o que é descrito com mais detalhes na Tabela 2.

dia (PE), mais das zonas rurais dos municípios: Floresta, Belém do São Francisco, no estado de Pernambuco, e os de Glória e Chorochó, na Bahia. Ao mesmo tempo, foi afetada massivamente a estrutura fundiária produtiva da região atingida, tendo sido criados, por intermédio de remanejamentos de famílias, novos recortes no espaço rural. Considerando a estrutura físico-natural e ambiental da região semiárida, implantaram-se projetos de irrigação para contemplar os reassentados em nova malha fundiária ao longo dos últimos 25 anos (CHESF, 1986; WORLD BANK, 1998; RODORFF *et al.*, 2013a).

A questão socioambiental e os dilemas da sobrevivência dos trabalhadores reassentados, para além da expectativa de novos núcleos de moradia, só foram considerados com maior repercussão depois das legislações ambientais consequentes e da intervenção dos movimentos sindicais. Nesse âmbito, o Banco Mundial demandou por meio de consultoria uma avaliação e o acompanhamento dos processos adotados, com base no que foram estabelecidos acordos entre a Chesf e os movimentos sociais, na ocasião representada pelo Polo Sindical. Na esfera de mediação para assistência técnica e extensionista foi atribuída à Codevasf, agência executiva para o vale do Rio São Francisco, que por sua vez atua no Ministério da Integração (MI), a responsabilidade de manutenção e suporte técnico nos projetos de irrigação.

Usos, efeitos e fatores de influência na gestão da água

Entre os múltiplos usos da água, destaca-se o advindo da geração de energia por hidrelétricas, tanto em escala de bacia como do reservatório. O setor de piscicultura, em tanque de rede e tanques escavados, em Petrolândia e Itacuruba, registrou grande desenvolvimento nos últimos anos. O município de Petrolândia e os bancos de financiamento promoveram o desenvolvimento desse setor (ENTREVISTA 12, 2012). As empresas e associações de piscicultura têm de cumprir com o regulamento ambiental por intermédio de licenciamentos. Como o reservatório se estende por mais de dois estados, os órgãos nacionais (ANA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, Secretaria do Patrimônio da União – SPU, Marinha) são responsáveis pelo licenciamento e pelo controle do setor de piscicultura, ficando a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) responsável pelos tanques escavados (ENTREVISTA

O planejamento desses reassentamentos foi introduzido pela iniciativa de sindicatos e do Banco Mundial, sendo assinado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Chesf, no acordo de 1986 (CHESF, 1986). Iniciou-se assim o esboço do complexo organograma institucional que teve rebatimento na região de Itaparica em processo crescente. Conforme pode ser observado na Figura 4, um conjunto de instituições atua em cada nível de governo, sendo a maioria na perspectiva de cima para baixo (*top-down*), funcionando em grande parte de forma paralela e superposta no âmbito funcional, quer seja de direito, quer seja de fato. Isso é o que alguns autores chama de ordem distante (LEFEBVRE & FRIAS, 2008) ou relação vertical (SANTOS, 1996). Em cada nível do governo igualmente se manifesta essa característica, existindo muitas instituições concorrentes no papel e nas suas práticas que não se relacionam convergentemente na condução de políticas favoráveis à boa gestão na escala do reservatório no processo de gestão dos múltiplos usos da água. Cabe ressaltar, também, que ao mesmo tempo se identificam lacunas e/ou omissões em alguns setores e/ou segmentos. As influências estão entrando de forma vertical. Ou seja, as diferentes escalas mostram a maior dominação em comparação de efeitos horizontais. Como algumas relações foram interpretadas nas oficinas e visualizadas, tem-se a Figura 4.

13, 2013). Para os piscicultores, o clima, as épocas do ano e a água são fatores que influenciam a região e o rendimento, conforme se acordou na oficina de trabalho 3, ocorrida em 2013.

Os perímetros irrigados foram criados em áreas da caatinga (bioma característico da região), sendo a maior parte em solos arenosos (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001). O desenvolvimento socioeconômico e ambiental varia de perímetro para perímetro, dependendo da assistência técnica prestada pela Codevasf ou por empresas terceirizadas, e também dos impactos causados pela tecnologia de irrigação usada e pelas monoculturas, agravados às vezes com o emprego excessivo de fertilizantes e agrotóxicos, como se discutiu na oficina de trabalho 4, em 2013.

O acesso à água encontra-se distribuído de forma desequilibrada. Esse desequilíbrio manifesta-se por conta

das terras ocupadas em extensão das áreas de irrigação fora dos hectares calculados no tempo da sua concepção. Além disso, pode resultar da falta de títulos de propriedade da terra (a maioria ainda pertence à Chesf), da falta de planejamento, tendo em conta o contínuo crescimento populacional, bem como da integração de migrantes, que chegam em busca de água e qualidade de vida por causas das secas e da falta de infraestrutura em outras regiões no entorno da bacia, de acordo com o que se discutiu nas oficinas de trabalho 3 e 4, ambas em 2013. A água potável, o tratamento e a coleta dos resíduos sólidos nos perímetros irrigados e nas outras áreas rurais estão a cargo da municipalidade.

Portanto, torna-se claro que um dos desafios está na gestão dos perímetros, onde de maneira direta e indireta podem ocorrer conflitos resultantes da contaminação do solo e da água mostrando que as capacidades municipais estão insuficientemente preparadas. Ademais, existem ofertas de assistências técnicas que não são suficientemente percebidas pelos moradores. Muitas vezes os residentes dos perímetros assumem as atividades

Olhares inter e transdisciplinares sobre a gestão da água

Os resultados das oficinas locais revelaram que na constelação dos atores foram identificadas relações positivas, como por exemplo: a relação entre os pescadores e os agricultores, o apoio do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) ou os créditos bancários existentes. O licenciamento sobre o tamanho da malha na pesca tradicional e a proliferação de algas na piscicultura foram avaliados com insuficiência ou conflito e tiveram pequeno impacto na análise realizada. A atuação da Chesf representou outro conflito sobre a propriedade (titularização) das terras nos projetos irrigados e os invasores de terras desses projetos, pelos quais ficam como ilhas de gestão em uma região semiárida e afetada pela seca.

Numa escala maior, o elemento técnico da transposição mostra um conflito no âmbito do meio ambiente, na política socioeconômica e nos possíveis impactos ao Rio São Francisco. A falta de conhecimento abre espaço entre impactos negativos e positivos no futuro.

No subtópico referente à gestão da água no espaço urbano de Petrolândia, foram identificados grandes questionamentos sobre o sistema de esgoto e a atuação da prefeitura, além da falta de ensino e informa-

dos municípios, como o tratamento da água e a disposição dos resíduos sólidos. No mesmo setor, mas sem responsabilidade nos perímetros e nas zonas rurais, a Com-pesa é responsável pelo tratamento da água nas cidades e áreas urbanas em Pernambuco. Esse é um bom exemplo do efeito vertical de várias instituições paralelas no mesmo setor em relação à falta de ligações horizontais. Significa que o vertical entra na dimensão da solução efetiva dos problemas para garantir oportunidades de participação. Ao contrário disso, o horizontal refere-se na base social à associação política e às relações internas do coletivo dos governados com os limites e o grau de coesão social de um sistema político (HOLSTI, 1996; SCHMELZLE, 2008). Pode-se identificar a transferência de autoridade, funções e recursos do governo federal para as estruturas do governo local, mas não com finalidade em responsabilidades para o governo local. Nessas várias instituições, destaca-se a falta do empoderamento das comunidades (KAUZYA, 2003) e municipalidades de base para permitir-lhes determinar, planejar, gerenciar e programar a política socioeconômica no desenvolvimento local.

ção na atuação e no relacionamento com os diferentes atores no setor da gestão da água no espaço urbano. Por outro lado, o setor de piscicultura e pesca tradicional apresentaram um quadro mais equilibrado na quantidade dos elementos e foram identificadas ligações concretas.

Nas oficinas realizadas em Itaparica, em Petrolândia e no Recife, os participantes iniciaram a constelação com foco nos elementos técnicos e atores sociais. Esses elementos passaram a ser o ponto central da constelação. À medida que a constelação foi sendo elaborada num processo iterativo, os elementos técnicos e os símbolos foram dando forma à constelação. Os elementos naturais e os símbolos foram citados, mas pouco destacado pelos participantes. Conforme a análise foi acontecendo, obtiveram-se detalhes no processo que diziam respeito à tecnologia. Não se nomearam muitas relações conflituosas; inúmeras relações foram simples, além de diversas terem sido alvo de reações entre os elementos técnicos e atores sociais, como com os símbolos. Foi identificado um maior número de símbolos que envolvem todos os setores da sociedade, como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do país,

do governo federal; o Novo Código Florestal, codificação voltada para as questões gerais ambientais nacionais; o licenciamento ambiental; a lei referente ao uso e à gestão estadual da água; a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos; entre outros. Essa constelação representa aumento dos elementos marginais, significando que são aliados com o tema principal da constelação. Nesses elementos, foram identificados leis e programas federais, tendo ainda também elementos naturais da bacia hidrográfica. Nos elementos marginais, o governo brasileiro está representado em todas as suas esferas (federal, estadual e municipal).

Na constelação, o tópico da piscicultura e pesca tradicional foi mais detalhado, indicando a relevância das ligações indicativas e essenciais no sistema de gestão. A constelação apresenta ainda a ligação dos órgãos federais e estaduais (IBAMA, ANA, CPRH) com a pesca e a piscicultura numa escala local. A Figura 3 mostra a agricultura irrigada como um assunto separado da pesca e piscicultura, mas com grande importância de integração na gestão da água. Em ambas as constelações, verificou-se que os indígenas têm ligação com a Fundação Nacional do Índio (Funai) e com a agricultura, estando agregados na relevância da boa gestão da bacia. Apesar de a Chesf ter por objetivo a geração de energia no tocante à represa de Itaparica, o papel dela não fica claro na gestão da água. Destaca-se a temática da gestão das terras da Chesf, e na agricultura irrigada, a luta contra invasores de terras (ocupantes ilegais), também no que concerne à responsabilidade pelo pagamento da água utilizada para a irrigação.

Considerações processuais do método da análise de constelação

As constelações mapeadas são feitas para visualizar o conhecimento dos pesquisadores envolvidos (interdisciplinares) e atores locais e transdisciplinares. Assim, foi possível abordar diversos atores e questões em várias escalas. A análise técnica e os aspectos naturais podem ser avaliados num contexto mais complexo, ou seja, numa visão multidisciplinar. Além disso, serve de processo participativo com caráter integrativo, combinando aspectos de diferentes disciplinas. Nas oficinas foi possível criar tópicos em que cada assunto pôde indicar as seguintes subconstelações:

- gestão da água: qualidade da água, sistema de esgoto, energia, recursos hídricos, governança;

Numa perspectiva local e num espaço dinâmico, verifica-se a ausência do comitê, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos e de uma boa relação com as escalas superiores. Além disso, a prefeitura não desempenha adequado papel de suas atribuições. Planos e programas regionais são desconhecidos ou não divulgados transparentemente. Sendo assim, o desconhecimento sobre a existência de um plano da bacia hidrográfica e a possibilidade de participação no comitê em processos de decisões em várias escalas foram identificados ao longo do processo da análise. Temas como cobrança da água, convivência com a seca, regulamento da quantidade de água e energia e projetos de transposição não foram identificados de forma relevante na gestão da água em escala local do reservatório, de modo que não foram inseridos nas constelações. Algumas das maiores dificuldades identificadas consistiram em: responsabilidade dos atores influentes na região, proliferação de algas no reservatório por conta da piscicultura (tanques escavados e tanques rede), esgoto não tratado lançado no reservatório, planejamento urbano e dos perímetros, legalidade e invasão de terras. A transposição, vista como um conflito para o Rio São Francisco, foi alvo de críticas também pela falta de participação no processo da tomada de decisão. A falta de um bom regulamento e da respectiva fiscalização foi também constatada como um desafio existente em todos os grupos participantes nas oficinas. Por último, tanto os piscicultores como os agricultores localizados nos perímetros enfrentam dificuldade de locomoção pela falta de meios de comunicação, transporte e infraestrutura.

- gestão da terra: resíduos, agricultura, biodiversidade, qualidade do solo, governança;
- ciclos de produção agrícola: agricultura, qualidade de solo, qualidade dos alimentos;
- ciclos de produção da pesca/aquicultura: pesca e piscicultura, qualidade da água, aquicultura, qualidade dos alimentos;
- gestão de bacias hidrográficas: governança, comitê, qualidade da água, recursos hídricos e energia.

Dessa forma, vê-se que a integração de várias escalas no processo da análise trouxe novos elementos, como também focos diferentes. Aproximadamente metade

dos elementos em cada categoria resultou numa base comum aos elementos mais importantes.

As constelações com os diversos atores e instituições foram construídas de modo a visualizar a situação atual na região e as diferentes escalas, partindo do conhecimento e da experiência da população local e de visitas feitas a instituições relevantes. O trabalho feito nas três oficinas, com base nos diferentes tópicos e experiências realizadas, fez com que os participantes se mostrassem receptivos para concretizarem mudanças

nas devidas constelações, no entanto as constelações elaboradas apresentaram simplificações em relação à complexidade em campo, dos atores e das interações necessárias para apoiar e estruturar os resultados de pesquisas analíticas e conceitos mais abrangentes. Mesmo assim, todos os participantes permitiram obter visão geral e os fatores de restrição.

As sucessivas camadas de diferentes constelações, com os seus respectivos elementos, levaram a aspectos comuns em todas as escalas e setores (Tabela 3). Mas, por

Tabela 3 – Comparação dos desafios na gestão da água conforme as oficinas e entrevistas

Em escala do reservatório	Em escala da bacia
	Diversidade socioeconômica e ecológica
	Usos múltiplos
	Qualidade da água
Múltiplas escalas de governança	Múltiplas escalas, o comitê representa principalmente os atores locais e regionais – grandes obras correspondem ser de interesse e autorização nacional
Peixes introduzidos	
Acesso à água; água potável	
Diferenças entre os perímetros irrigados por desenvolvimento e história diferente	
Falta de fiscalização; licenciamentos	
Legalização e invasão de terras; crescimento populacional	
Falta de infraestrutura, transporte e meios de comunicação	Divulgação de informações
Seca	Quantidade de água; mudanças climáticas
	Segregação social resultante de diferentes pontos de vista e objetivos não só na gestão, como também em questões de desenvolvimento da bacia
Transposição não aparente um tema com prioridade	Novos elementos técnicos sem clareza sobre os resultados esperados para todos os usuários e os possíveis impactos sobre o meio ambiente; transposição
	Integração dos subgrupos regionais do comitê (CCRs)
	Gestão sustentável da água e adaptável em todas as escalas

intermédio do conhecimento de várias disciplinas e das experiências locais regionais no processo iterativo, foi possível detectar as inúmeras vertentes da gestão da água de escalas distintas. Além disso, será imprescindível atingir a ligação entre a escala local com a escala da bacia com integração do comitê nos projetos locais para um planejamento extenso e sustentável resolvendo a governança em toda a bacia, como está relatado na discussão final.

A aplicação dessa metodologia permitiu visualizar uma situação de governança complexa, da qual po-

dem surgir novas questões ou hipóteses. Ademais, existe a necessidade de compartilhamento de novas decisões acerca dos impactos gerados pelos assentamentos humanos nas áreas de intervenção quando da implantação de grandes equipamentos ao longo do Rio São Francisco, tais como as hidrelétricas. O uso da metodologia de análise de constelação possibilita evidenciar pontos ou nós de conflitos, impasses e também oportunidades a serem exploradas em diferentes escalas e contextos apropriados.

DISCUSSÃO FINAL

A preocupação com os aspectos ambientais e a gestão dos recursos naturais (hídricos) contribuem para o aumento do nível de complexidade da gestão da bacia e seu entendimento, que, por sua vez, desafia a criação de uma rede de articulações que abranja toda a constelação nos usos distintos, com variáveis e especificidades que possam oferecer caminhos para uma gestão sustentável. A análise de forma inter e transdisciplinar mostra a dimensão jurídica institucional e administrativa e revela algumas superposições que requerem cuidados no desenvolvimento futuro da governança. Além disso, o método dá transição aos problemas da sociedade e ao mesmo tempo aos problemas científicos relacionados por diferenciação e integração de conhecimentos nas diversas disciplinas científicas e órgãos da sociedade que possibilitam a promoção de soluções (HIRSCH HADORN *et al.*, 2006; LANG *et al.*, 2012).

A gestão sustentável integra o uso, a proteção, a preservação e a recuperação (revitalização) dos recursos naturais. Futuros projetos de grande escala, tais como canais de transposição da água do rio e geração de energia elétrica por usinas nucleares e novas hidrelétricas, envolvem processos na tomada de decisão. Os múltiplos usos e a pluralidade dos níveis de interesse dos diferentes tipos de usuários envolvidos constituem, porém, grandes desafios nos processos e nas tomadas de decisões. O rio pertence à responsabilidade da União, que é representada pelo governo nacional nas funções do CBHSF, do CNRH e da ANA, que tem de arbitrar os conflitos em sua pluralidade.

A vazão de água de cada barragem e a quantidade de água ao longo do rio são hoje em dia principalmente influenciadas por instituições do governo federal.

As decisões tomadas podem afetar em escala macro toda a bacia, como também em escala local, em uma municipalidade. Portanto, qualquer decisão em relação à vazão terá consequências em diferentes âmbitos e setores, como, por exemplo, na navegação, no assoreamento do rio e no ecossistema, e também para os pequenos agricultores e/ou pescadores. As diversas modalidades de usuários articulam e buscam atuar regidas pelos seus interesses. É importante ressaltar que independentemente do tipo de usuário, seja grande, seja pequeno (indústrias, empresas ou agricultores), as suas atividades tais quais o uso de fertilizantes, pesticidas, ração e produtos veterinários para sustentar a produção na agricultura, bem como a emissão de poluentes pelas atividades industriais, de mineração e dos efluentes dos sistemas de saneamento, levam à certa forma de poluição do solo e da água.

No tocante à implementação, ao controle e ao monitoramento ambiental, permanecem superposições ou faltam responsabilidades (ABERS & KECK, 2006; ABERS, 2007), que muitas vezes são transferidas para outras escalas. Decisões quanto à revitalização são discutidas e realizadas pelo comitê, que de forma participativa e transparente vem debatendo os conflitos dos múltiplos usos e que para tanto promove divulgações das decisões e debates em reuniões periódicas. Por outro lado, o monitoramento e a eficácia das ações ainda apresentam resultados insatisfatórios. Decorridos mais de dez anos desde a sua instalação, evidencia-se que o CBHSF se encontra em um processo de aprendizagem, não havendo clareza nem encaminhamento referentes aos impasses identificados na superposição e deficiência no

processo de gestão da bacia. O comitê atua como intermediário no processo de troca e compartilhamento de informações, gerando instâncias e campos de transparência nas discussões. A votação no CBHSF e o meio de condução das plenárias representam uma conquista enquanto instrumento de governança, porém não conseguem vislumbrar o seu poder de intervenção nas instâncias superiores de poder. O comitê atua como um intermediário entre as escalas na bacia, com seus membros eleitos conforme um organograma de tarefas e competências no que concerne aos projetos e planos na área de captação. No entanto é nítida a necessidade de compartilhamento de questões com maior representação da sociedade, sendo portanto um desafio que deve ser superado. Apesar de o comitê promover um processo de tomada de decisão participativo e transparente em escala local, muitas vezes ainda há quem desconheça a sua existência, as suas funções e responsabilidades, mesmo apontadas pelas constelações na escala local.

A agência AGB Peixe Vivo gerencia os recursos de cobrança da água e as atividades do próprio comitê, com planos e projetos selecionados. Logo, alguns membros perceberam a agência executiva desempenhando um papel independente, reforçado pelo fato de que é contratada pela ANA. A cooperação entre os membros do CBHSF e a agência está se desenvolvendo e precisa ainda se consolidar mais (SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2015) para aproveitar bem a pertinência prática da agência, muito útil no suporte da governança e sua eficácia. A recente reeleição da agência está mostrando a aprovação por parte do comitê.

Com 630 mil km², o tamanho de toda a bacia hidrográfica do Rio São Francisco (MANETA *et al.*, 2009) pode ser comparado ao de um país da América do Sul, por exemplo, entre o Paraguai, com 406.752 km², e o Chile, com 756.102 km² (PENNIG & UHLENBROCK, 2003a; 2003b), o que dificulta a gestão dos múltiplos usos e a participação de 505 municípios da bacia (AGB PEIXE VIVO & CBHSF, 2011; SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2015). Por conseguinte, o comitê torna-se invisível na escala local e é camuflado pelos desafios locais: uso da terra e da água, acesso à agricultura e piscicultura.

Por vezes, decisões e poderes em escala superior conduzem à falta de ação e geram conflitos em escala local. Embora a política tenha de ser cometida em

grande escala e ser abrangente, a aplicação da política ocorre em escala local (BUTTERWORTH *et al.*, 2010). Por exemplo, os pescadores para poder pescar dependem da emissão de licenças pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), da escala nacional, sendo o apoio do estado (em escala superior) muito importante para o seu financiamento nos períodos de defeso. O empreendimento de tanques redes para a piscicultura em escala local também depende de vários órgãos, dando entrada para a emissão de licença no MPA, incluindo: o Ibama, para o licenciamento da utilização de espécies introduzidas; a Superintendência do Patrimônio da União (SPU), que cuida do território; a ANA, como referente outorga para o emprego da água com fins da produção pesqueira; e a Marinha, em trajetos que passam por embarcação, conforme se discutiu na oficina de trabalho 3, em 2013. No mesmo instante são decididas, em escala superior, as vazões de água e as captações, como pelos canais de transposição. Na mesma escala, desafios tais quais o acesso à água para a agricultura e o abastecimento humano (especialmente em tempos de seca), consequências de planejamento fracassado e a atribuição de responsabilidades após a construção da barragem de Itaparica e sua inundação da área ainda devem ser solucionados após 25 anos.

A responsabilidade por ações justas e que zelem pela igualdade de direitos de forma sustentável parece ter sido esquecida entre todas as escalas. As medidas são integradas nos planos e programas locais e regionais, porém a responsabilidade técnica é empurrada para a Chesf, a operadora de energia. Medidas de acompanhamento eficazes ocorrem dificilmente (RODORFF *et al.*, 2015). Planos e programas locais e regionais não são percebidos pelos atores locais nem pela sociedade. Enquanto ocorrem confusão sobre espaços e a posse de territórios, como dos perímetros irrigados, do sequeiro, dos reservatórios e do rio, responsabilidades são transferidas de ator a ator. Esperando a fiscalização acontecer? Deveria a prefeitura ter papel maior na gestão da água no reservatório? Não existe boa integração entre a gestão da água, a gestão do espaço urbano e a gestão do sistema do tratamento de esgoto e águas residuais com os governos municipais. Além disso, relações com atores importantes da Chesf, do IPA, da Codevasf, entre outros, tampouco foram apontados nas oficinas.

Considerações e propostas de estratégias para a gestão da água

Em escala local, as instituições com as mesmas ou com áreas similares de atuação muitas vezes não compartilham as atividades comuns, ou seja, não permite governança funcional. Da mesma forma, as instituições para o desenvolvimento regional e estadual que são criadas por órgãos da esfera federal muitas vezes não são alinhadas com os objetivos nem com as instituições locais, trazendo prejuízos também para a institucionalização da governança.

No âmbito de bacia as responsabilidades são bem mais definidas. Destacam-se o CBHSF e a ANA. Essas responsabilidades são impulsionadas pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), que aplica o conceito da gestão integrada da água, o qual se tornou popular em todo o mundo nos últimos anos. Porém a sua eficácia na gestão de políticas, programas e projetos de água nas escalas macro e meso ainda tem sido desanimadora (BISWAS, 2004). Em escala do reservatório, precisa-se de um padrão descentralizado e participativo, semelhante ao de um comitê. A municipalidade deve tornar-se um órgão com mais responsabilidade, aliado com sindicatos, associações e outras instituições relevantes para desenvolver estratégias, planos e programas em conjunto e que devem abordar aspectos e erros do passado para evoluir para uma gestão sustentável e adaptativa na região.

Os principais fatores identificados como forças motrizes ou barreiras cruciais para uma gestão sustentável da terra e da água, desde a escala do reservatório até o nível de mesoescala, foram:

- a fraca municipalidade nas decisões e o planejamento municipal e regional. A má aplicação de regulamentos e a falta de planejamento urbano, rural e do crescimento populacional;
- existência de diferentes atores atuando paralelamente. Falta de estratégia comum entre atores responsáveis e a municipalidade. Relevância da integração de empresas terciárias;
- confusão de direitos e responsabilidades dos espaços e territórios. As cidades e as *ilhas* dos perímetros de irrigação poderão ser consideradas zonas de alta vulnerabilidade, especialmente por conta da imigração, sendo portanto estruturas dinâmicas. A falta de titulação da terra.

Apesar do papel claro da Chesf como operadora elétrica e consequentemente como o ator responsável pela construção da barragem de Itaparica, a população local não está satisfeita com o estado de medidas de compensação, mesmo após 25 anos da conclusão da barragem. A Chesf tem transferido tarefas e responsabilidades para a Codevasf, e esta por sua vez está subcontratando empresas para a assistência técnica, manutenção e operação nos projetos de agricultura irrigada. Embora a Codevasf tenha importante função para o desenvolvimento da bacia, a Chesf é considerada responsável pelos projetos, pois foi resultante de medidas definidas no processo de reassentamento causado pela construção da barragem de Itaparica (CHESF, 1986). Portanto, é recomendada uma vertente comum entre a Chesf e a Codevasf como outro ator responsável em um documento de estratégia conjunta. Isso inclui definir as responsabilidades e a consciência de cada setor, de preferência em um processo transparente com representantes dos agricultores envolvidos.

Para muitas dessas estratégias, necessita-se a integração dos aspectos gerais socioambientais de cada uso que envolvam os atores relevantes. Para essa finalidade, a aplicação da análise de constelação poderia ser usada como um instrumento de reflexão e integração (OHLHORST & KRÖGER, 2015), ou, como apontam os atores Bell *et al.* (2012), a participação de *stakeholders* é importante para o desenvolvimento sustentável e sua pesquisa.

Para melhorar a situação descrita, recomenda-se elaborar um documento em conjunto entre a instância municipal de planejamento, de agricultura, de meio ambiente, entre outros, a Codevasf e as partes interessadas com diretrizes e objetivos comuns, bem como preparar planos de desenvolvimento agrícola e rural e outros instrumentos de planejamento que incidam sobre o crescimento e desenvolvimentos urbano e rural. Esse documento poderia ser semelhante ao Plano de Desenvolvimento Regional Concertado de Loreto, em conjunto com a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), no Peru (GOBIERNO REGIONAL DE LORETO, 2014). Tudo isso de acordo com os processos de participação durante as fases de planejamento (KÖPPEL *et al.*, 2007). Finalmente, isso deve ser fiscalizado por uma estratégia de acompanhamento efetiva, a fim de incluir omissões do passado para o planejamento sustentável

(BAKKER & COOK, 2011). A documentação (por exemplo, atas, resoluções, contratos) e os planos devem ser divulgados e ficar disponíveis para todos numa plataforma *online* (semelhante ao *site* do CBHSF).

Segundo a Lei n.º 12.527, de 18 de novembro de 2011, sobre acesso a informações, e dependendo da hierarquia no sistema, as competências relevantes são a União, o estado ou a municipalidade responsável em transmitir processos e dados à cidadania acerca, por exemplo, da implementação, do acompanhamento e dos resultados dos programas, dos projetos e das ações dos órgãos e das entidades públicas, bem como das metas e dos indicadores propostos. Muitas vezes os planos e programas existentes não são conhecidos. É importante construir um banco de dados *online* e também publicar tais informações em outros meios de comunicação, como também reforçar a participação da sociedade civil na avaliação e construção de novos planos e projetos (BEEKMAN, 2002). Além disso, é recomendado incentivar cooperativas e associações para fortalecer o setor da agricultura. A falta dos títulos de posse da terra deve ser solucionada, para, entre outros, permitir a possibilidade de investimentos bancários aos agricultores. Um fator geral para uma solução pode ser o estabelecimento de poderes em escala local e regional (BUTTERWORTH *et al.*, 2010) e a criação de incentivos a cooperações (BRYDEN, 2005).

Em termos de governança da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, os aspectos mais importantes identificados neste estudo são:

- a integração na política de água e poder de intermediário do comitê. Os comitês podem se beneficiar do CNRH para resolver conflitos e vice-versa;
- múltiplas escalas de governança. Incentivar a participação dos diferentes atores de escalas distintas e setores por CCRs e por comitês afluentes;
- estabelecimento do planejamento estratégico, preventivo e de forma participativa em todos os níveis.

Em escala da bacia, é difícil definir estratégias que não existam fora das tarefas definidas legalmente. Os diferentes obstáculos por usos múltiplos, interação de diversas escalas, correlacionam-se, contudo a importância varia dependendo das circunstâncias e dos atores intervenientes. As responsabilidades na escala nacional tornam-se mais visíveis do que as responsa-

bilidades na escala local, visto que a responsabilidade se divide por diferentes escalas e se propaga à custa de leis, regulamentos e da política atual. A gestão de interações está a cargo da ANA, que por sua vez deu apoio à criação do CBHSF. Todavia, a posição do comitê na política nacional de água tem caráter intermediário, sendo muitas vezes insuficientemente concreta para servir bem a população e os usuários de toda a bacia.

Mesmo o reservatório sendo parte da área de atuação do comitê, por estar dentro da bacia, não está representado na população local nem tampouco ligado com as instituições locais de gestão da água, no entanto deveria ser um aspecto essencial da gestão integrada da água. As instituições, os programas e os projetos devem ser considerados e utilizados em todas as escalas (BISWAS, 2008). Também, tem de ser aprofundada ainda mais a perspectiva de baixo para cima, como manifesta o estudo de Beekman (2002). As câmaras regionais do comitê, juntamente com os comitês de afluentes existentes, devem responsabilizar-se em envolver os municípios, tornando-se nas escalas mais baixas órgãos equitativos de participação, integrando aspectos e discussões relevantes. Ainda existem poucos comitês afluentes no Nordeste do Rio São Francisco. Seria importante a criação de mais comitês afluentes, pois sua atuação em um território menor é prevista por lei estadual e poderia promover decisões mais concretas e envolver atores locais de forma mais efetiva. Além disso, mais envolvimento do comitê no CNRH e vice-versa seria significativo no âmbito da participação. As instituições nacionais, como a ANA, o Ibama e os ministérios setoriais, e suas funções devem ser claramente definidas em escalas mais baixas. Mas também nessas organizações são essenciais discussões e uma posição de como lidar com o sistema de governança descentralizada e participativa (SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2015). A capacitação das agências (governamentais, privadas, cooperativas etc.) responsáveis pela entrega de serviços de água é outro aspecto aconselhado na gestão da água (AWC, 2009). Representantes competentes poderiam transmitir nas municipalidades os seus papéis de forma gerenciável e comunicar-se uns com os outros.

Diante do que foi citado, mostra-se certa deficiência na governança horizontal numa abordagem de baixo para cima. Ou seja, ações oriundas da escala local devem ser integradas nas estratégias das instituições e responsá-

veis existentes de todas as escalas. Estratégias possíveis para remediar a governança horizontal incluem a adoção do planejamento estratégico com a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), mecanismos e processos definidos de participação, acesso fácil ao conteúdo de decisões, estu-

dos de *follow-up* e auxílio e valorização da responsabilidade e do engajamento dos vários atores. Finalmente, precisa-se esclarecer o papel assumido no sistema de governança pelas múltiplas escalas e respectivos atores, inclusive uma definição da maneira de colaborar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos ministérios da Alemanha (*Bundesministerium für Bildung und Forschung* – BMBF, número de referência 01LL0904A) e do Brasil (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTI), como também à instituição Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o apoio financeiro no projeto binacional Innovate. Aos membros do CBHSF, todos os parceiros de entrevistas, participantes das oficinas de trabalho e grupos de discussão, a sua par-

ticipação e contribuição com informações e ideias sobre os desafios na gestão da água. A preparação das oficinas e constelações baseou-se na colaboração de Martin Bönewitz, Gérsica Moraes, Guilherme Araújo, Wilma Gomes Souza, Edilson Cavalcante de Oliveira Júnior, Rafaela Souza, Michel Barbosa, Maiara Melo, Marília Lyra e Liron Steinmetz, só para citar alguns. Agradecemos a Clécio Barbosa Souza Júnior e Wilma Gomes Souza a revisão crítica do texto, inclusive sugestões muito valiosas.

REFERÊNCIAS

- ABERS, R. N. Organizing for governance: building collaboration in Brazilian river basins. *World Development*, v. 35, n. 8, p. 1450-1463, 2007. DOI: 10.1016/j.worlddev.2007.04.008.
- ABERS, R. N. & KECK, M. E. Muddy waters: the political construction of deliberative river basin governance in Brazil. *International Journal of Urban and Regional Research*, v. 30, n. 3, p. 601-622, 2006. DOI: 10.1111/j.1468-2427.2006.00691.x.
- AGB PEIXE VIVO – ASSOCIAÇÃO EXECUTIVA DE APOIO À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PEIXE VIVO & CBHSF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO (Eds.). *Guardiões do Velho Chico*. Vitória: Companhia de Comunicação, 2011.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; GEF – FUNDO MUNDIAL PARA O MEIO AMBIENTE; PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; OEA – ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013)*. Síntese do resumo executivo do PBHSF com apreciação das deliberações do CBHSF. Brasília, 2004. 150 p.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P. *Diagnóstico ambiental do município de Floresta, Pernambuco*. Rio de Janeiro: Embrapa, 2001. (Circular Técnica).
- AWC – ARAB WATER COUNCIL. *Vulnerability of arid and semi arid regions to climate change – impacts and adaptive strategies: perspectives on water and climate change adaptation*. 2009.
- BAKKER, K. & COOK, C. Water governance in Canada: innovation and fragmentation. *International Journal of Water Resources Development*, v. 27, n. 2, p. 275-289, 2011. DOI: 10.1080/07900627.2011.564969.
- BEEKMAN, G. B. Social change and water resource planning and development. *International Journal of Water Resources Development*, v. 18, n. 1, p. 183-195, 2002. DOI: 10.1080/07900620220121747.
- BELL, S.; MORSE, S.; SHAH, R. A. Understanding stakeholder participation in research as part of sustainable development. *Journal of Environmental Management*, v. 101, p. 13-22, 2012. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.02.004.

BISWAS, A. K. Integrated water resources management: a reassessment. *Water International*, v. 29, n. 2, p. 248-256, 2004. DOI: 10.1080/02508060408691775.

BISWAS, A. K. Integrated water resources management: is it working? *International Journal of Water Resources Development*, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2008. DOI: 10.1080/07900620701871718.

BRAGA, B. P. F.; GONDIM FILHO, J. G. C.; SUGAI, M. R. V. B.; COSTA, S. V. D.; RODRIGUES, V. Impacts of Sobradinho Dam, Brazil. In: TORTAJADA, C.; ALTINBILEK, D.; BISWAS, A. K. (Orgs.). *Impacts of large dams: a global assessment*. Berlim: Springer, 2012. p. 153-170. ISBN 3 642 23570 0.

BRAGA, B. P. F. & LOTUFO, J. G. Integrated river basin plan in practice: the São Francisco river basin. *International Journal of Water Resources Development*, v. 24, n. 1, p. 37-60, 2008. DOI: 10.1080/07900620701722978.

BRASIL. Decreto de 5 de junho de 2001. Dispõe sobre o Projeto de Conservação e Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 6 jun. 2001.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 jul. 2000.

BRASIL. Lei n.º 12.188, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária – PNATER e o Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária – PRONATER, altera a Lei n.º 8.666, de 21 de junho de 1993, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 12 jan. 2010.

BRASIL. Lei n.º 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do artigo 5.º, no inciso II do § 3.º do artigo 37 e no § 2.º do artigo 216 da Constituição Federal; altera a Lei n.º 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a lei n.º 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei n.º 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 19 nov. 2011.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. *Relatório de Impacto Ambiental – RIMA*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n.º 32, de 15 de outubro 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN*. Brasil, 2005. 242 p.

BRUNS, E.; OHLHORST, D.; WENZEL, B.; KÖPPEL, J. *Renewable energies in Germany's electricity market: a biography of the innovation process*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011. ISBN 978 90 481 9905 1. DOI: 10.1007/978 90 481 9905 1

BRYDEN, J. Horizontal coordination at local and regional levels. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DO MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL MEXICANO E DA OECD DESIGNING AND IMPLEMENTING RURAL DEVELOPMENT POLICY, 7.-8. abr. 2005, Oaxaca, México, 2005. *Anais...*, México, 2005.

BUI, T. M. H.; SCHREINEMACHERS, P.; BERGER, T. Hydropower development in Vietnam: involuntary resettlement and factors enabling rehabilitation. *Land Use Policy*, v. 31, p. 536-544, 2013. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.08.015.

BUTTERWORTH, J.; WARNER, J.; MORIARTY, P.; SMITS, S.; BATCHELOR, C. Finding practical approaches to integrated water resources management. *Water Alternatives*, v. 3, n. 1, p. 68-81, 2010. Disponível em: <http://www.wateralternatives.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=77>. Acesso em: 5 jun. 2013.

CABRAL, A. & BARBOSA, D. Reflexões sobre a implantação de usinas nucleares no Rio São Francisco. *Revista Eletrônica de Energia*, v. 4, n. 1, p. 38-52, 2014.

CBHSF – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. *O Comitê da Bacia do Rio São Francisco*. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/o_cbhsf/o_que_e_um_comite_de_bacia/>. Acesso em: 20 ago. 2014.

CERNEA, M. M. (Ed.). *Putting people first: sociological variables in rural development*. 2. ed. Nova York: Oxford University Press, 1991.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Ed.). *Brazil and climate change: vulnerability, impacts and adaptation*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

CHESF – COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO & POLO SINDICAL. *Acordo entre a Chesf e trabalhadores rurais atingidos pelo reservatório da usina de Itaparica*, com a presença do Ministério das Minas e Energia. Itaparica, 1986.

COSTA, I.; AZEVEDO, S.; SENNA, P.; BERNARDO, R. R.; COSTA, S. M.; CHELLAPPA, N. T. Occurrence of toxin producing cyanobacteria blooms in a brazilian semiarid reservoir. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 66, n. 1B, p. 211-219, 2006. DOI: 10.1590/S1519-69842006000200005.

DALLABRIDA, V. R. & BECKER, D. F. Governança territorial: um primeiro passo na construção de uma proposta teórico metodológica. *Desenvolvimento em Questão*, v. 1, n. 2, p. 73-98, 2003. DOI: 10.21527/2237-6453.2003.2.73-97.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia: PNE 2030*. Rio de Janeiro, 2007. 408 p.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, 2007. DOI: 10.1590/S1413-41522007000400006.

GAUDIN, J. P. *Pourquoi la gouvernance?* [Paris]: Presses de Sciences Po, 2002. 137 p. ISBN 9782724608991.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. *GWP in Action 2011 Annual Report*. Estocolmo, 2011. 40 p. Acesso em: 13 jul. 2015.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. *Integrated water resources management: GWP Technical Advisory Committee*. Estocolmo, 2000.

GOBIERNO REGIONAL DE LORETO. *Plan de Desarrollo Regional Concertado al 2021: visión prospectiva para el desarrollo de nuestra región*. Iquitos, 2014.

GUNKEL, G. & SOBRAL, M. C. (Eds.). Capacidade de carga e o uso múltiplo da água de reservatórios: eutrofização versus re oligotrofização. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., João Pessoa, 2011. *Anais...* João Pessoa, 2012.

HIRSCH HADORN, G.; BRADLEY, D.; POHL, C.; RIST, S.; WIESMANN, U. Implications of transdisciplinarity for sustainability research. *Ecological Economics*, v. 60, n. 1, p. 119-128, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.12.002.

HOLSTI, K. J. *The state, war, and the state of war*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. (Cambridge studies in international relations, 51). ISBN 0 521 57790 X.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2013*. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa_tcu.shtm>. Acesso em: 1.º jul. 2013.

JAHN, T.; BERGMANN, M.; KEIL, F. *Transdisciplinarity: between mainstreaming and marginalization*. *Ecological Economics*, v. 79, p. 1-10, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.04.017.

JESSOP, B. The rise of governance and the risks of failure: the case of economic development. *International Social Science Journal*, v. 50, n. 155, p. 29-45, 1998. DOI: 10.1111/1468 2451.00107.

KAUZYA, J. M. *Local governance capacity building for full range participation: concepts, frameworks, and experiences in African countries*. Nova York: United Nations/Department of Economic and Social Affairs, 2003.

KÖPPEL, J.; KUNZMANN, K.; SOBRAL, M. C. Managing the new complexity: policies and instruments for an integrated river basin management in Germany and the European Union. In: FEYEN, J.; AGUIRRE, L. F.; RAMÍREZ, M. M. (Orgs.). *Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y Recursos Naturales: Sostenibilidad a Múltiples Niveles*. Cochabamba, Bolívia, p. 411-419, 2007.

LANG, D. J.; WIEK, A.; BERGMANN, M.; STAUFFACHER, M.; MARTENS, P.; MOLL, P.; SWILLING, M.; THOMAS, C. J. Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, v. 7, S1, p. 25-43, 2012. DOI: 10.1007/s11625 011 0149 x.

LEFEBVRE, H. & FRIAS, R. E. F. *O direito à cidade*. 5. ed. São Paulo: Centauro, 2008. 144 p. ISBN 978 85 88208 97 1.

LYRA, F.; MELO, S. B.; PAES, R. C. Environmental management of a series of reservoirs in São Francisco River operated by Hydro Electric Company of São Francisco (Chesf). In: GUNKEL, G. & SOBRAL, M. C. (Orgs.). *Reservoir and river basin management: exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany*. Berlim: Universidade Técnica de Berlim, 2007. p. 27-35. ISBN 978 3 7983 2056 7.

MANETA, M.; TORRES, M.; WALLENDER, W.; VOSTI, S.; KIRBY, M.; BASSOI, L. H.; RODRIGUES, L. Water demand and flows in the São Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 8, p. 1191-1200, 2009. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.03.008.

MCDONNELL, R. A. Challenges for integrated water resources management: how do we provide the knowledge to support truly integrated thinking? *International Journal of Water Resources Development*, v. 24, n. 1, p. 131-143, 2008. DOI: 10.1080/07900620701723240.

MOLLE, F. River basin planning and management: the social life of a concept. *Geoforum*, v. 40, n. 3, p. 484-494, 2009. DOI: 10.1016/j.geoforum.2009.03.004.

OHLHORST, D. & KRÖGER, M. Konstellationsanalyse: einbindung von experten und stakeholdern in interdisziplinäre forschungsprojekte. In: NIEDERBERGER, M. & WASSERMANN, S. (Orgs.). *Methoden der experten: und stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen forschung*. Wiesbaden: Springer VS, 2015. p. 95-116. ISBN 3 658 01686 8.

OSMONT, A. La governance: concept mou, politique ferme. *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 80-81, p. 19-26, 1998.

PAHL WOSTL, C.; TÀBARA, D.; BOUWEN, R.; CRAPS, M.; DEWULF, A.; MOSTERT, E.; RIDDER, D.; TAILLIEU, T. The importance of social learning and culture for sustainable water management. *Ecological Economics*, v. 64, n. 3, p. 484-495, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.08.007.

PENNIG, L. & UHLENBROCK, K. *Chile: Landesflagge, Kurzcharakteristik*. 2003a. Disponível em: <<https://www.klett.de/alias/1038805>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

PENNIG, L. & UHLENBROCK, K. *Paraguay: Landesflagge, Kurzcharakteristik*. 2003b. Disponível em: <<https://www.klett.de/alias/1038829>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *American Institute of Biological Sciences*, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1313099>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

POMPEU, P.; ALVES, C.; CALLISTO, M. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. *American Fisheries Society Symposium*, v. 47, p. 11-22, 2005.

PÖTHIG, R.; BEHRENDT, H.; OPITZ, D.; FURRER, G. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 17, n. 2, p. 497-504, 2010. DOI: 10.1007/s11356-009-0230-5.

RODORFF, V.; ARAÚJO, G.; GOMES, E. T. A.; KÖPPEL, J.; SIEGMUND SCHULTZE, M.; SOBRAL, M. C. Driving forces and barriers for a sustainable management of the Itaparica reservoir region: basic milestones towards a constellation analysis. In: GUNKEL, G.; SILVA, J.; SOBRAL, M. C. (Orgs.). *Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas*. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2013a. p. 254-268.

RODORFF, V.; SIEGMUND SCHULTZE, M.; GOTTWALD, S.; MECKEL, U.; SOBRAL, M. C. Effektivität von Staudamm „Follow up“ Programmen – 25 Jahre nach dem Bau des Itaparica Reservoirs in Nordost Brasilien. UVP report, v. 27, 4+5, p. 216-223, 2013b.

RODORFF, V.; SIEGMUND SCHULTZE, M.; GOTTWALD, S.; SOBRAL, M. C.; KÖPPEL, J. Eficácia de programas de acompanhamento (follow up) – 25 anos após a construção do reservatório de Itaparica no Nordeste brasileiro. In: THEODORO, H. D. & MATOS, F. (Orgs.). *Governança e recursos hídricos: experiências nacionais e internacionais de gestão*. Belo Horizonte: D'Plácido, 2015. p. 199-218. ISBN 9788584250851.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Edusp, 1996.

SCHMELZLE, C. Governance und legitimität. In: LA ROSA, Sybille de; HÖPPNER, U.; KÖTTER, M. (Orgs.). *Transdisziplinäre governanceforschung*. Gemeinsam hinter den Staat blicken. Baden Baden: Nomos Verl. Ges, 2008. p. 162-186. ISBN 978 3 8329 3670 9.

SCHÖN, S.; KRUSE, S.; MEISTER, M.; NÖLTING, B.; OHLHORST, D. (Eds.). *Handbuch Konstellationsanalyse*. Munique: Oekom Verlag, 2007.

SIEGMUND SCHULTZE, M.; GOMES, E. T. A.; KÖPPEL, J.; RODORFF, V. Finding workable solutions: stakeholder dialogue integrates between science and society. In: ISSRM – INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOCIETY AND RESOURCE MANAGEMEN (Org.). *International Symposium on Society and Resource Management (ISSRM): a time for integration*, 19., 2013.

SIEGMUND SCHULTZE, M.; RODORFF, V.; KÖPPEL, J.; SOBRAL, M. C. Paternalism or participatory governance? Efforts and obstacles in implementing the Brazilian water policy in a large watershed. *Land Use Policy*, v. 48, p. 120-130, 2015. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.024.

SOBRAL, M. C. *Ist die Umweltverträglichkeitsprüfung in Brasilien ein wirksames Instrument des vorsorgenden Umweltschutzes?*: Dargestellt am Beispiel von Staudammvorhaben. Berlin: Universidade Técnica de Berlin, 1991.

SOBRAL, M. C.; CARVALHO, R. M. C.; FIGUEIREDO, R. C. Environmental risk management of multipurpose use of reservoirs in semiarid area of São Francisco River, Brazil. In: GUNKEL, G. & SOBRAL, M. C. (Orgs.). *Reservoir and river basin management: exchange of experiences from Brazil, Portugal and Germany*. Berlin: Universidade Técnica de Berlin, 2007. p. 14-26. ISBN 978 3 7983 2056 7.

WORLD BANK. *Recent experience with involuntary resettlement: Brazil – Itaparica*. Document of the World Bank. Report No. 17,544. Washington, D.C.: World Bank, 1998.

CURVAS DE DEMANDA PELOS RECURSOS HÍDRICOS DOS PRINCIPAIS USOS CONSUNTIVOS NO SUBMÉDIO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

DEMAND CURVES FOR WATER RESOURCES OF THE MAIN WATER USERS IN SUB-MIDDLE SÃO FRANCISCO BASIN

**Gerald Norbert
Souza da Silva**

Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE) – Recife (PE), Brasil.

**Luiz Eduardo
Nascimento Figueiredo**

Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE) – Recife (PE), Brasil.

**Márcia Maria Guedes
Alcoforado de Moraes**

Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE) – Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência:

Gerald Souza da Silva – Rua
Ambrosina Soares dos Santos,
71, Bessa – 58035-140 – João
Pessoa (PB), Brasil – E-mail:
geraldsouzadasilva@gmail.com

RESUMO

A região do submédio da bacia do Rio São Francisco tem uma variedade de usos, com alguns conflitos já estabelecidos. Curvas de demanda da água são importantes para identificar o valor econômico dado ao recurso hídrico pelo usuário diante de diferentes quantidades disponibilizadas. O conhecimento de tais curvas deve auxiliar no estabelecimento de políticas que criem incentivos adequados ao uso eficiente do recurso e evitem sua sobre-exploração. Este trabalho apresenta curvas de demanda pelos recursos hídricos estimadas para os usuários da agricultura irrigada e para o abastecimento humano usando o método de programação matemática positiva e expansão de ponto. Os resultados para a agricultura irrigada nos dois métodos mostraram que o *mix* de culturas é o fator mais relevante na disposição a pagar dos usuários pelo recurso hídrico e que, para o abastecimento humano, os valores econômicos em relação ao mesmo grau de disponibilidade hídrica foram mais elevados em comparação com a irrigação.

Palavras-chave: curvas de demanda; valor econômico da água; alocação de água.

ABSTRACT

The lower basin region of São Francisco basin has a variety of uses, with some conflicts already established. Water demand curves are important to identify the economic value given to the water resource by different users and available amounts. The knowledge of them should assist in establishing policies that create appropriate incentives for efficient water resource use and prevent their over-exploitation. This paper presents the water demand curves estimated by users of irrigated agriculture and human supply using the positive mathematical programming method and point expansion method. Results for irrigated agriculture of the two methods showed that the crop mix is the most important factor for the willingness to pay for water resources and that, for human supply, the economic values, considering the same level of water availability, are higher when compared with irrigation.

Keywords: demand curves; water value; water allocation.

INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é cada vez mais impactada pela escassez de água, ao mesmo tempo que o crescimento econômico alavancado pelo setor agrícola depende fortemente de água para irrigação. O aumento da população e de sua renda está criando uma demanda crescente por água em setores não agrícolas e muitas vezes não rurais. Variabilidade temporal e espacial das chuvas e altas taxas de evaporação em conjunto com estiagens prolongadas marcam a região. As mudanças climáticas e o continuado crescimento da população podem elevar ainda mais a já existente crise da água na região. A exploração excessiva dos recursos hídricos disponíveis, bem como o uso de reservatórios de acumulação, afeta também a qualidade das fontes de água doce, por exemplo por intermédio da intrusão salina.

A região hidrográfica do submédio do rio São Francisco foi escolhida para identificação do valor econômico da água para os principais usos consuntivos, com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento de um modelo de alocação hidroeconômico (MORAES *et al.*, 2013). A área de estudo é inserida na região semiárida brasileira, que possui características especiais, sobretudo com relação ao clima e à vegetação. O clima tropical semiárido no Brasil destaca-se pelo regime e pela quantidade de chuvas e determinado pela escassez, irregularidade espacial e concentração das precipitações pluviométricas. Na região semiárida, as chuvas anuais variam de no mínimo 400 mm ao máximo de 800 mm ao ano. O período seco é predominante e pode atingir até 11 meses nas áreas de maior aridez, e a precipitação ocorre de forma irregular e concentrada em dois ou três meses do ano. Nessa época intensas precipitações (120 a 130 mm em 24 horas) podem ser observadas (BRASIL, 2005; EMBRAPA, 2008).

A irrigação é responsável por cerca de 70% das retiradas totais de água no submédio do São Francisco. Incentivos que envolvem preços mais elevados de água para irrigação estão sendo cada vez mais considerados como uma ferramenta eficaz para reduzir a demanda de água. A elasticidade-preço da demanda por recursos hídricos mede a alteração proporcional na quantidade demandada do recurso diante de uma mudança no preço. A elasticidade-preço da demanda é uma medida econômica usada muitas vezes para avaliar a eficácia de um sistema de preços, no sentido de incentivar a conservação de água ou a viabilidade econômica de

transferir água de um uso para outros. Os formuladores de políticas interessados em estimar os efeitos das modificações em preços dos recursos hídricos podem basear-se em estimativas da elasticidade-preço da demanda (SCHEIERLING *et al.*, 2006).

Curvas de demanda por recursos hídricos podem ser empregadas no apoio à decisão na gestão de bacias hidrográficas, ao possibilitar análise de questões relativas ao recurso, tais como: escassez, estabelecimento de prioridades, avaliação do retorno de atividades econômicas que usam tal recurso como entrada, alocação eficiente, conservação, e avaliação de políticas. Tendo em vista que os mercados de bens como a água são em geral ausentes ou ineficazes, as decisões de alocação dos recursos hídricos raramente podem contar com o funcionamento autônomo do mercado. Em vez disso, as curvas de demanda e os valores marginais de água devem ser aplicados para subsidiar políticas de intervenção que impeçam a sobreutilização do recurso, bem como assegurem a boa qualidade dele (TILMANT *et al.*, 2008).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) implementou a cobrança pelo uso da água no Rio São Francisco, em julho de 2010 (BRASIL, 2010). Os mecanismos e valores de cobrança foram estabelecidos na Deliberação CBHSF n.º 40/08. Os valores são cobrados e arrecadados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e repassados à Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo (AGB Peixe Vivo), a quem compete desembolsar os recursos nas ações previstas no Plano de Recursos Hídricos da bacia, conforme as diretrizes estabelecidas no plano de aplicação (ANA, 2014). Os valores de cobrança atualmente são fixados em níveis baixos e em geral não têm cumprido o papel de induzir um uso eficiente pelos agricultores, pois são determinados por metodologias com objetivos arrecadatórios. Segundo Vera (2014), em termos numéricos da cobrança, a irrigação consome mais de 70% dos volumes totais da bacia, porém a contribuição da cobrança é de apenas 9% do valor arrecadado total. Para o autor, isso é o resultado do mecanismo de cobrança adotado, que dá desconto de 97,5% no valor cobrado e nos preços fixos unitários estabelecidos. Ademais, a avaliação da evolução do consumo e das vazões de captação mostram crescimento para o período de 2011 a 2013, o que pode sinalizar a utilização não eficiente dos recursos

hídricos. Além disso, dados relativos ao consumo do recurso pelos agricultores continuam a ser imprecisos.

O objetivo principal deste trabalho foi estimar as curvas de demanda para os principais usos consuntivos de água no submédio do Rio São Francisco. É importante frisar que o termo *demanda* na economia pressupõe a existência de um mercado e a determinação de um preço para o bem. Essas características (mercado e pre-

ço) nem sempre são observadas quando a análise está relacionada ao recurso hídrico em alguns de seus usos. Assim, o termo *demanda* aqui é empregado como sinônimo de benefício marginal, ou seja, o quanto de retorno é obtido com base em uma variação marginal na quantidade de água. Outras denominações são encontradas e também utilizadas no presente artigo com o mesmo sentido, como, por exemplo, a disponibilidade a pagar, o valor econômico da água, entre outros.

MATERIAIS E MÉTODOS

A medida da capacidade de resposta da quantidade demandada de um bem a mudanças em seu próprio preço é conhecida como elasticidade-preço da demanda (LIPSEY, 1988). Para estimar a função demanda pelo recurso hídrico, que mede os benefícios marginais associados a diversas quantidades do recurso, são necessários os dados relativos às quantidades totais do recurso, bem como os benefícios econômicos associados a ele.

Existem muitas formas de utilização da água, seja para consumo direto, seja para consumo indireto, num pro-

Expansão de ponto

A técnica da expansão do ponto já foi empregada em inúmeros trabalhos e representa um instrumento importante para a estimação da demanda (HAROU *et al.*, 2009; GRIFFIN, 2006). O método é relativamente fácil na aplicação, dado que se obtém toda curva de demanda por intermédio de apenas um ponto conhecido da função (normalmente o ponto de operação atual) e a elasticidade-preço da demanda, que é exógeno e assumido ser constante. A elasticidade-preço da demanda é definida como a variação na quantidade demandada em relação à variação no preço (GRIFFIN, 2006; VARIAN, 2006):

$$\eta = \frac{\frac{dQ}{Q}}{\frac{dP}{P}} \quad (1)$$

Em que:

d = delta;

η = elasticidade-preço da quantidade demandada;

Q = quantidade de água;

cesso produtivo, como, por exemplo, a produção de alimentos e os serviços de ecossistemas básicos. Por conta dessa diversidade de uso dos recursos hídricos e de suas características específicas, uma variedade de métodos para estimar as demandas econômicas da água foi desenvolvida e continua a se desenvolver (BOOKER *et al.*, 2012). Em geral os métodos econométricos são intensivos em dados, isto é, requerem uma série extensa e confiável de informações. Métodos não tão intensivos em dados foram utilizados, a saber: o método de expansão de ponto e a programação matemática positiva (GRIFFIN, 2006).

P = preço de água, disposição a pagar; valor econômico da água ou o benefício marginal;

Resolvendo-se a equação diferencial ($dQ=f(dP)$) e assumindo-se a elasticidade-preço constante, chega-se à seguinte função de demanda inversa:

$$Q = kP^{\eta} \quad (2)$$

Conhecendo-se um ponto na Equação 2, a constante k pode ser obtida e a curva de demanda traçada. Para esse ponto em geral se usa o ponto da operação atual do usuário, ou seja, a quantidade do recurso atualmente utilizada e os custos médios atuais incorridos para a obtenção de tal recurso como condição de contorno. Deve-se salientar que, conquanto mais fácil de obter, o custo médio não é igual ao custo marginal (que é igual ao benefício marginal no ponto de ótimo), mas é uma boa *proxy* dele, pelo menos para os usuários que empregam

o recurso de forma eficiente (o ponto mínimo do custo médio ocorre quando este se iguala ao custo marginal).

Entretanto a Equação 2 proposta por Griffin (2006) tem certas limitações referentes a essa utilização na prática, pois a função assíntota os eixos P e Q em direção ao infinito. Assim, por exemplo, quando a quantidade de água alocada tende a zero, o valor da água tende ao infinito. Na teoria isso representaria tendência real, mas na prática a função resulta em benefícios econômicos infinitos para valores alocados de água maiores que zero (benefícios econômicos totais dados pela área sob a curva de demanda de zero até o valor alocado). Por isso, na maioria das aplicações dessas curvas de demanda em modelos hidroeconômicos, utilizam-se tais curvas para calcular a perda dos benefícios econômicos (área sob a curva entre o valor atual e o valor alocado) por conta das reduções na alocação, o chamado custo de escassez.

Moraes *et al.* (2006) propuseram uma Equação 3 similar, mas que interceptasse o eixo das ordenadas pela introdução de duas constantes C2 e C1 e, portanto, possibilitasse o cálculo dos benefícios totais, mediante o deslocamento da função. A ideia era que na prática o valor econômico associado à quantidade alocada nula seria mensurável, e não infinito. Ademais, os valores dos benefícios eco-

nômicos atualmente obtidos seriam usados como outra condição de contorno, e a curva então se adaptaria de forma a que a área sob ela no ponto de operação se aproximasse do benefício atual obtido pelo usuário com a quantidade de água atual (ponto de operação).

$$P(Qaloc) = k(Qaloc - C2)^{1/\eta} \quad e \quad k = e^{C1} \quad (3)$$

A curva da Equação 3 passaria a interceptar o eixo dos preços (quantidade zero) e o eixo da quantidade alocada na qual o preço tende a zero (consumo autônomo). Para a regressão dos pontos obtidos com o método da programação matemática positiva (PMP), foi utilizada a mesma Equação 3, com o valor de operação ($P_{\text{água}}$ e Q_p) obtido pelo método PMP.

Para a obtenção das curvas da irrigação difusa e para o abastecimento humano com o método de expansão de ponto, também se recorreu aos benefícios brutos dos usuários, e o parâmetro C2 foi obtido com o excedente bruto calculado por meio da integração da função de demanda inversa e da minimização do erro utilizando o *solver*, empregando o método não linear de Levenberg-Marquardt.

Programação Matemática Positiva

A partir da década de 1990, a programação matemática foi integrada como método de modelagem para a demanda de água para irrigação, com o trabalho de Howitt (1995), que desenvolve uma técnica denominada programação matemática positiva (PMP). Os métodos para obtenção de curvas de demanda por meio da PMP baseiam-se em um determinado preço e estimam a quantidade de água que maximiza o lucro do agricultor. A variação do preço da água induz diferentes quantidades de água ideais. Essas informações são diretamente usadas para representar a demanda derivada da água para irrigação. Várias hipóteses são feitas a respeito da função-resposta rendimento da cultura à água de irrigação.

A PMP é um procedimento de autocalibração, em três estágios, desenvolvido por Howitt (1995). O primeiro estágio consiste em um modelo de programação linear definido como:

$$\text{Max} \prod_{x_{gi}, l \wedge \geq 0} \sum_g \sum_i (v_{gi} y l d_{gi} - \sum_j \omega_{gji} a_{gji}) x_{gi, terra} \quad (4)$$

$$\sum_i a_{gji} x_{gi, terra} \leq b_{gj} \quad \forall g, j \quad (5)$$

$$x_{gi, terra} \leq \tilde{x}_{gi, terra} + \varepsilon \quad (6)$$

Em que Equação 4 é a função objetivo e $x_{gi, terra}$ (hectares plantados por região g e cultura i) são as variáveis de decisão. A receita marginal é dada por v_{gi} e a produtividade média e custos variáveis médios por $yl d_{gi}$ e ω_{gji} . Os parâmetros a_{gji} são definidos pela razão do total de insumos normalizados pela área plantada. A restrição dos recursos é dada pela Equação 5, e o conjunto da Equação 6 representa os limites da calibração em que $\tilde{x}_{gi, terra}$ é a quantidade de área plantada atualmente observada, e ε , um erro de tolerância.

O segundo estágio consiste na calibração de uma função custo quadrática e de uma função de produção com elasticidade constante, conforme descrito a seguir:

$$TC_{gi}(x_{gi,terra}) = \alpha_{gi}x_{gi,terra} + \frac{1}{2}\gamma_{gi}x_{gi,terra}^2 \quad (7)$$

$$Y_{gi} = \tau_{gi} \left[\sum_j \beta_{gij} X_{gij}^\rho \right]^\rho \quad (8)$$

Em que:

Y_{gi} = produto da cultura i na região g ;

τ_{gi} = parâmetro de escala da função de produção (CES);

β_{gij} = parâmetros de participação de um dado recurso j .

A elasticidade de substituição é $\sigma = \frac{1}{(1-\rho)}$. α_{gi} e γ_{gi} são o intercepto e a declividade, respectivamente, da função linear de custo marginal da cultura i da região irrigada g .

Por fim, o terceiro estágio consiste em resolver um programa de maximização não linear com restrição. A função objetivo pode ser escrita assim:

$$Max_{x \geq 0} \Pi \sum_g \sum_i v_{gi} Y_{gi} - \sum_g \sum_i \left(\alpha_{gi} x_{gi,terra} + \frac{1}{2} \gamma_{gi} x_{gi,terra}^2 \right) - \sum_g \sum_i \sum_{j \neq terra} (\omega_{gij} x_{gij}) \quad (9)$$

$$\sum_i a_{gij} x_{gij,terra} \leq b_{gj} \quad \forall g, j \quad (10)$$

$$\sum_i x_{gi, \acute{a}gua} \leq Avail.b_{\acute{a}gua, g} \quad \forall g \quad (11)$$

Y_{gi} é definida pela função de produção e pelos parâmetros τ_{gi} e β_{gij} da Equação 8. O segundo termo é a função custo quadrática calibrada (Equação 7). O conjunto de restrições (Equação 10) é o mesmo utilizado no problema de maximização linear (Equação 5). Não são usadas mais as restrições de calibração do modelo linear (Equação 6). Adiciona-se um novo conjunto de restrições exclusivo para o uso da água anual (Equação 11).

Os procedimentos utilizados para a calibração do problema PMP foram os mesmos de Howitt *et al.* (2012). Já para a calibração da função CES e para a calibração da função custo quadrática, recorreu-se aos trabalhos de Medellín-Azuara *et al.* (2009) e Maneta *et al.* (2009). A elasticidade de substituição adotada foi 0,4, valor derivado dos estudos de Maneta *et al.* (2009) e Torres *et al.* (2012), e para a elasticidade de oferta¹ das culturas foram aplicados os valores de 0,2 até 2,0 para todas as culturas observadas.

Os dados utilizados nessa etapa do trabalho consistiram em um total de culturas observadas de onze (banana, cana, cebola, coco, goiaba, manga, maracujá, melancia, melão, uva, tomate) para doze regiões irrigadas (Nilo Coelho, Bebedouro, Salitre, Maniçoba, Tourão, Curaçá, Icó Mandantes, Apolônio Sales, Barreiras, Caraíbas, Brígida e Pedra Branca) e quatro insumos (terra, água, trabalho e suprimentos).

Os valores necessários foram obtidos com base nos dados municipais do Censo Agropecuário (IBGE, 2009), da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2012), do Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industriais e Agricultura Irrigada n.º 6 (FUNARBE, 2011) e do Relatório de Gestão da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método PMP foi utilizado para a identificação das curvas de demanda dos perímetros irrigados no submédio do São Francisco. Foram analisados 12 perímetros irrigados (Nilo Coelho, Bebedouro, Salitre, Maniçoba, Tourão, Curaçá, Icó Mandantes, Apolônio Sales, Barreiras,

Caraíbas, Brígida e Pedra Branca) com as principais culturas (banana, cana, cebola, coco, goiaba, manga, maracujá, melancia, melão, uva, tomate) referentes aos insumos (terra, água, trabalho e suprimentos). Obtiveram-se os valores com base nos dados municipais do

¹A elasticidade de oferta da cultura é definida pela variação percentual na demanda da cultura determinada pela variação percentual no preço dessa cultura. No modelo, tais elasticidades vão impactar no custo do recurso terra. Ou seja, quanto maior a elasticidade da oferta, mais os produtores desejarem ofertar o produto e conseqüentemente demandarão mais terras, aumentando o custo do fator (para cada elasticidade se terá uma função custo quadrática calibrada com valores diferentes de α e γ)

Censo Agropecuário (IBGE, 2009), da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2012), do Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industriais e Agricultura Irrigada n.º 6 (FUNARBE, 2011) e o Relatório de Gestão da Codevasf (2006). Em relação à área irrigada por cultura e por região, o relatório da Funarbe (2011) forneceu a área irrigada mensalmente, estimada pelos dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009), por cultura, para cada município. Para representar a área por cultura anual, usou-se a média das áreas mensais de cada cultura por município.

Os resultados dados pela PMP, que compuseram a curva de demanda por água, correspondem aos valores sombra (benefícios marginais) da restrição anual de dis-

ponibilidade de água expressa pela Equação 11, usando diferentes percentuais de disponibilidade de 100 até 5% do volume atual observado, empregando para isso o parâmetro *avail*. Isso foi feito em intervalos de 5% e para a elasticidade de oferta de 0,2 adotada para as culturas propostas. Deve-se ressaltar que na maioria das aplicações são obtidos valores sombra com a PMP para 100 a 60% de disponibilidade, porque também para esse método grande parte das aplicações dessas curvas de demanda em modelos hidroeconômicos é voltada ao cálculo dos custos de escassez, e não aos benefícios econômicos totais advindos da alocação.

O Gráfico 1 mostra os valores sombra alcançados para as diversas disponibilidades de água de 100 a 5% para

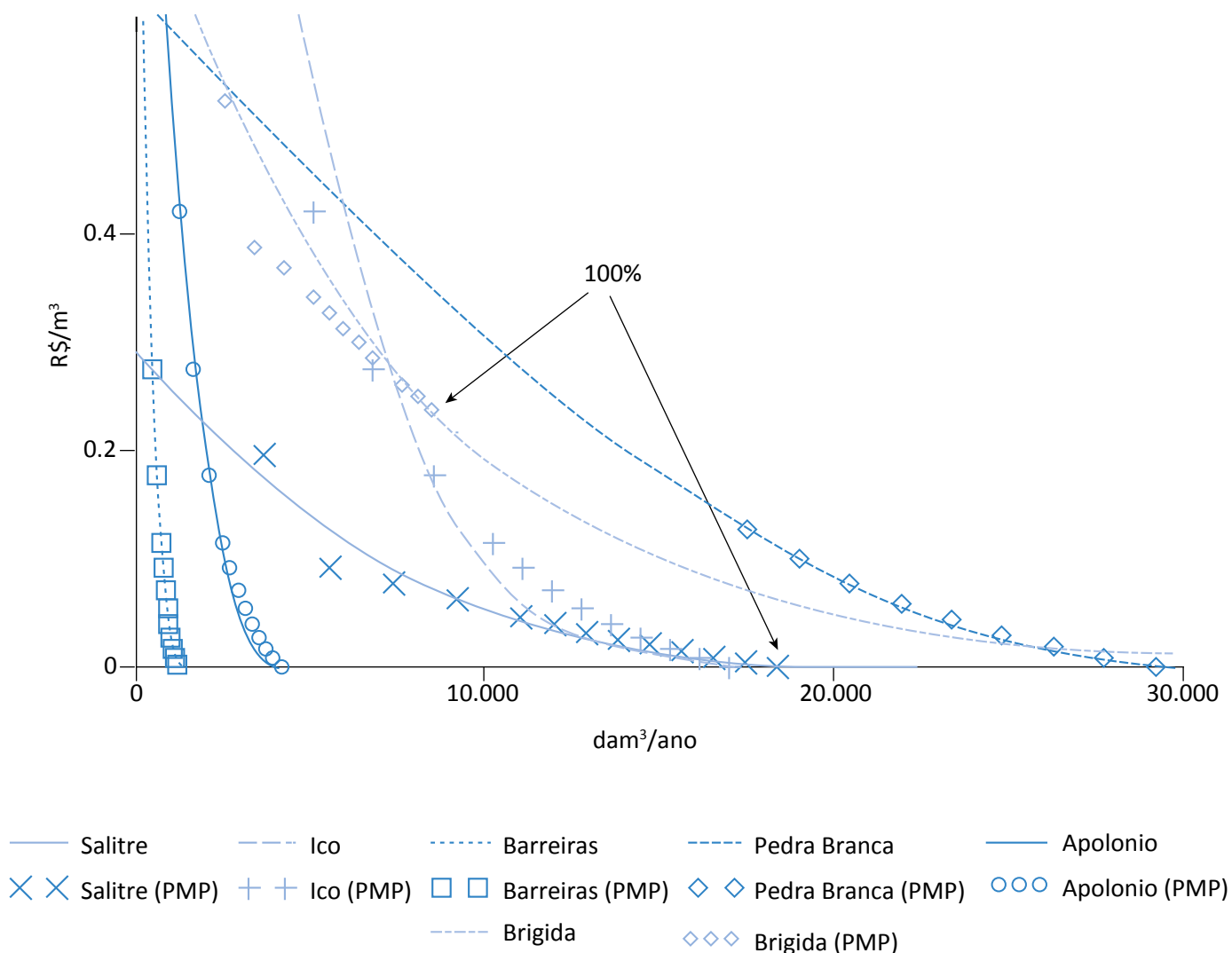


Gráfico 1 – Curvas de demanda dos perímetros irrigados Salitre, Ico Mandantes, Barreiras, Pedra Branca, Apolônio e Brígida obtidas usando o método programação matemática positiva (PMP).

os perímetros irrigados Salitre, Icó Mandantes, Barreiras, Pedra Branca, Apolônio Sales e Brígida obtidos com o método PMP e as curvas resultantes de uma regressão desses pontos achados com o PMP feita no tocante à forma funcional dada pela Equação 3, que resultou em aproximações bastante satisfatórias.

Os valores obtidos com a PMP foram representados pela forma funcional dada pela Equação 3 pela obtenção de valores ótimos para C_2 e η , que minimizam os erros ao quadrado entre os valores alcançados com a PMP e os dados pela relação funcional, empregando o método não linear de Levenberg-Marquardt, que é uma variante do método de quase-Newton. A Tabela 1 exibe os resultados e os valores ótimos encontrados.

A ideia de usar a mesma relação funcional para as curvas de demanda obtidas pelos dois métodos empregados (expansão de ponto e PMP) tem a vantagem de facilitar a integração de ambas as curvas quando aplicadas num modelo de alocação hidroeconômico. A referida relação funcional, apesar de ser uma função relativamente simples e obtida com base no pressuposto elasticidade-preço constante, adaptou-se bem aos dados obtidos com a PMP em que a elasticidade (η) muda constantemente. Ressalta-se apenas que, como a PMP, ao contrário do método de expansão deslocado, não associa na sua estimação a área total sob a curva de demanda aos benefícios econômicos totais, isso deve ser considerado quando da integração dessas curvas como medida dos benefícios totais e critério de otimização nos modelos hidroeconômicos.

Pode ser observado nos dados obtidos com o método PMP que a maioria dos perímetros mostra no ponto de operação atual (a 100% de *avail*) valores marginais de

água muito baixos ($<R\$ 0,01$), exceto o perímetro Brígida. A forma funcional dada pela Equação 3 conseguiu representar os valores obtidos com o método PMP de forma mais acurada entre 100 e 60%, o que coincide com a faixa em que o método em geral é aplicado. Pode-se posteriormente identificar uma função objetivo que penalize de maneira diferente os erros, dependendo da faixa de disponibilidade.

As curvas de demanda dos perímetros irrigados Nilo Coelho, Bebedouro, Caraíbas, Tourão, Curaçá e Maniçoba são apresentados no Gráfico 2.

Os resultados das curvas de demanda obtidos com o método PMP (Gráficos 1 e 2) para os principais projetos públicos de irrigação no submédio do São Francisco sugerem que, na maioria dessas regiões irrigadas, a disposição dos usuários a pagar (DAP) com 100% de disponibilidade é maior ou igual ao valor atualmente cobrado pelo CBHSF ($R\$ 0,004/m^3$). No caso de menor disponibilidade (90% ou menos do valor que os perímetros usam hoje em dia), para a maioria deles os DAP tornam-se muito maiores do que o atual valor cobrado. Outro resultado interessante exposto pelas curvas de demanda obtidas com a PMP são os valores da DAP (valor econômico da água) com 100% de disponibilidade para os projetos públicos de irrigação que abrangem a área de produção de cana no SFRB (Salitre, Maniçoba, Tourão e Curaçá, no município de Juazeiro), muito próximos de zero, em contraste com aqueles projetos que são grandes produtores de frutas. São exemplos os perímetros de Nilo Coelho e Bebedouro, na cidade de Petrolina, que possuem DAP elevadas em todas as faixas de disponibilidade. Como as curvas de demanda dependem do *mix* de culturas cultivado em um projeto (juntamente com os custos de produção e disponibilidade de água), mostra-se que a

Tabela 1 – Resultados da representação funcional dos valores ótimos para C_2 e η .

	Nilo Coelho	Tourão	Brígida	Barreiras	Bebedouro	Salitre	Maniçoba	Curaca	Icó Mandantes	Pedra Branca	Apolônio Sales
C_2 (hm^3/ano)	1.774.939	155.755	394.540	1.277	178.019	20.798	39.570	68.671	21.096	29.983	4.153
η	0.023	0.357	0.019	0.382	0.017	0.368	0.203	0.195	0.211	0.552	0.391

produção de cana-de-açúcar nesses projetos públicos diminui significativamente a DAP desses usuários em relação àqueles que produzem majoritariamente frutas.

O método de expansão de ponto foi aplicado para a irrigação difusa e para o abastecimento dos municípios ao longo do Rio São Francisco. Os dados utilizados referentes à produção e ao rendimento agrícola foram extraídos do banco de dados do Sistema Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de Recuperação Automática (Sidra) (IBGE, 2012). As áreas irrigadas

da produção difusa foram delimitadas por intermédio de imagens de satélite (SILVA *et al.*, 2014). A produção agrícola nos perímetros irrigados localizados no mesmo município foi retirada utilizando relatórios da Codelvasf. A demanda de água foi estimada pelas matrizes de consumo por cultura e município (FUNARBE, 2011).

A Tabela 2 traz como exemplo a produção agrícola dos perímetros públicos pertencentes ao município e a resultante da irrigação difusa em Petrolina no ano de 2012.

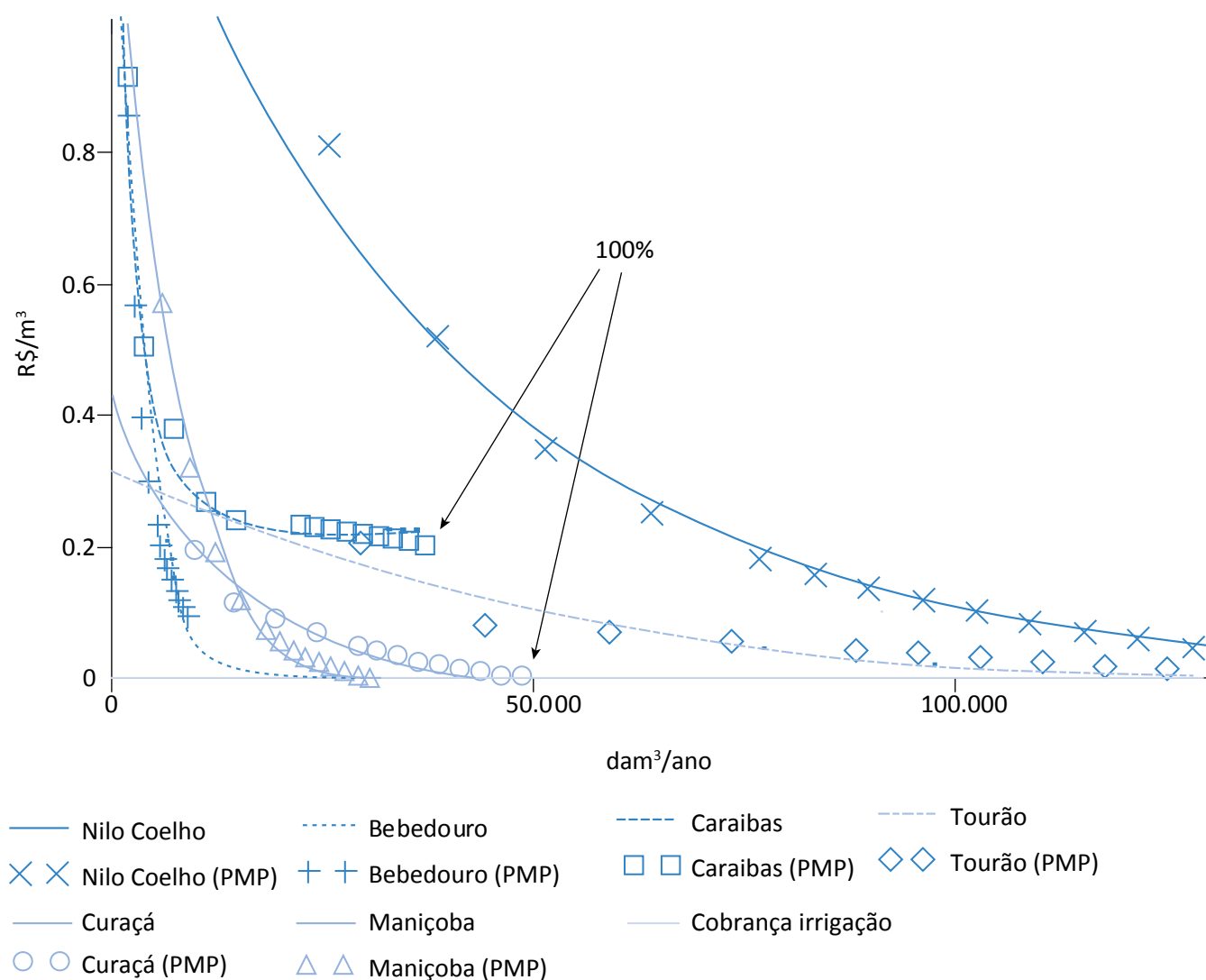


Gráfico 2 – Curvas de demanda dos perímetros irrigados Nilo Coelho, Bebedouro, Caraíbas, Tourão, Curaçá e Maniçoba usando o método programação matemática positiva (PMP).

Tabela 2 – Produção agrícola no município de Petrolina (ano-base 2012).

Produção do ano Petrolina (PE)	Área colhida [ha] 2012							Difusa
	Sidra		Nilo Coelho		Maria Tereza		Bebedouro	
Lavoura	Total	Valor (mil reais)	Empresarial	Família	Empresarial	Família	Família	
Banana (cacho) (toneladas)	1.820	27.835	16	725,31	22,8	623,2		432,69
Coco-da-baía (mil frutos)	1.620	13.666	469,40	686,91	25,1	71,17		367,42
Goiaba (toneladas)	2.230	85.648	78,6	1.189,53	58,91	428,2		474,76
Limão (toneladas)	70	1.097	2,5	16,65		1,8		49,05
Mamão (toneladas)	68	707	3	56,63		47,35	1,9	
Manga (toneladas)	7.900	12.902	2.431,28	3.392,77	449,22	320,2	88,3	1.218,23
Maracujá (toneladas)	200	5.528	12,88	16,18	8	37	16,77	109,17
Uva (toneladas)	4.650	35.212,20	1.575,55	1.441,91	713,66	300,68	192,99	425,21
Acerola (toneladas)			14,56	1.084,35	1	146,6	11,2	
Batata-doce (toneladas)	30	293		2,5		4,50		23
Cana-de-açúcar (toneladas)	75	372						75
Cebola (toneladas)	80	2.351		5,1		7,50	3,00	64,4
Feijão (em grão) (toneladas)	80	312		146,9		132,20	161,93	
Mamona (baga) (toneladas)	0	0						0
Mandioca (toneladas)	235	1.210	2	116,64	4,00	68,79	2,00	41,57
Melancia (toneladas)	180	1.097		37,3	1,00	9,30	79,50	52,9
Melão (toneladas)	65	1.047	2	21,2	6,00	1,00		34,8
Milho (em grão) (toneladas)	0	0	12	109,5		50,80	71,70	
Sorgo (em grão) (toneladas)	0	0						
Tomate (toneladas)	60	2.532		12,6	4,00	3,20		40,2
Abóbora (toneladas)				49,5	1,00	103,95		

O Gráfico 3 mostra as curvas de demanda dos municípios com atividade agrícola significativa no submédio do São Francisco. Para a demanda de água para irrigação difusa, foi aplicada elasticidade-preço igual a 0,48 (SCHEIERLING *et al.*, 2006).

Os resultados obtidos para a irrigação difusa nos municípios usando o método de expansão de ponto também mostram que a seleção de culturas tem grande impacto na definição das curvas de demanda de água obtidas.

Por exemplo, no município Lagoa Grande a cultura dominante é a uva (1.260 ha). Em comparação a outras

culturas como a manga (270 ha), a curva de demanda associa benefícios marginais elevando-se bastante à medida que se reduz a disponibilidade de água (maiores reduções no valor de operação). No outro extremo, no município de Juazeiro, a manga é uma das culturas mais plantadas (3.376 ha) e a uva é menos explorada (761 ha). A curva de demanda da irrigação desse município eleva-se pouco, mesmo com significativas reduções nos valores de operação. Finalmente é interessante notar que no caso da irrigação difusa, em geral desenvolvida ao longo do rio por iniciativas privadas e pequenos irrigantes, pouco se cultiva cana.

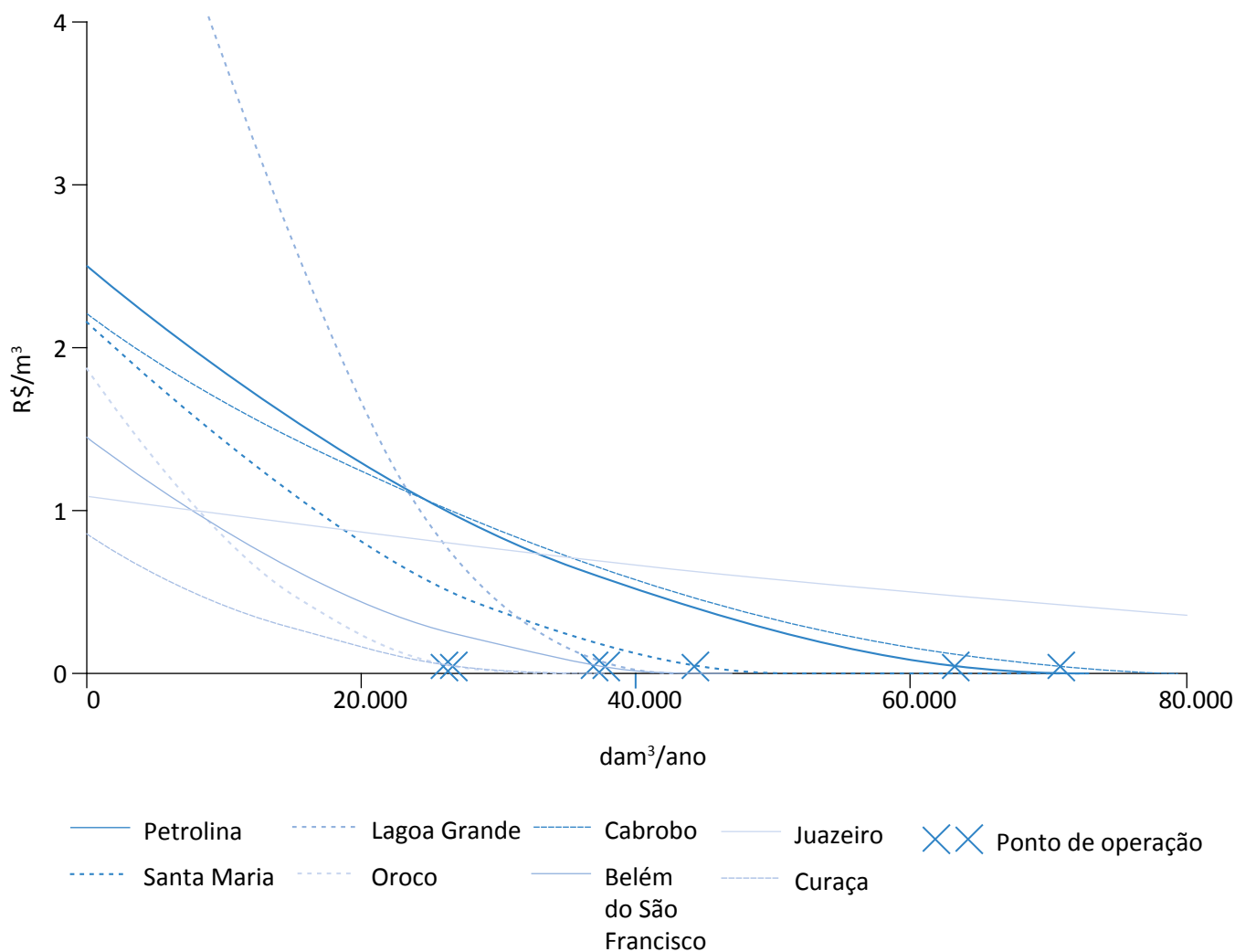


Gráfico 3 – Curvas de demanda da irrigação difusa dos municípios de Petrolina, Santa Maria, Lagoa Grande, Orocó, Cabrobó, Belém do São Francisco, Juazeiro e Curaça usando o método de expansão de ponto.

Em comparação com o método PMP, pode ser observado que as curvas têm elasticidade maior no início da função, e o método de expansão de ponto pode superestimar os valores marginais próximo do ponto de operação, pois se usa um valor de elasticidade constante ao longo de toda a curva. Ademais, na adaptação ao método de ponto de expansão empregado, dado pela Equação 3 (MORAES *et al.*, 2006), os valores dos benefícios econômicos atualmente obtidos representaram outra condição de contorno: a curva acentua pouco seu crescimento nas faixas de pequenas disponibilidades para representar o benefício econômico total em sua área associada. Ressalta-se que as curvas PMP não fazem o mesmo. Ou seja, áreas sob tais curvas não representam os benefícios totais, mesmo que com a regressão esse valor passe a ser finito.

Já em comparação com a metodologia de ponto de expansão original, observou-se que os resultados eram bastante similares na faixa de 60 a 100% se fosse considerada a elasticidade-preço desta última em

torno de metade da obtida pela meta-análise (0,48). Como se esperam os valores nas faixas de maior disponibilidade, a metodologia de ponto de expansão desloca-se menos em relação à metodologia PMP, por conta do uso da mesma relação funcional para as curvas de demanda.

As curvas referentes ao abastecimento dos municípios ao longo do Rio São Francisco foram determinadas pelos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2012). A Tabela 3 mostra valores referentes ao abastecimento nas cidades do estado de Pernambuco utilizando como referência o ano de 2012.

Para o abastecimento humano foi adotada a mesma metodologia de ponto de expansão deslocado, a mesma utilizada para obter as curvas de demanda da irrigação difusa. Adotou-se elasticidade-preço de $\eta=0,46$ para obter as curvas do abastecimento nos municípios (DALHUISEN *et al.*, 2001). As curvas de demanda para

Tabela 3 – Abastecimento dos municípios Pernambuco.

Município	População total com abastecimento de água (habitantes)	Volume de água tratada em ETAs (1.000 m ³ /ano)	Volume de água faturado (1.000 m ³ /ano)	Despesa total com os serviços por m ³ faturado (R\$/m ³)	Tarifa média praticada (R\$/m ³)
Belém de São Francisco	20.260	1.254	669	0,6	2,84
Cabrobó	31.497	2.230	1.104	6,57	2,5
Floresta	29.973	1.999	1.082	1,82	2,99
Itacuruba	4.475	330	219	0,13	0,12
Jatobá	14.087	1.569	595	1,31	2,93
Lagoa Grande	23.308	1.381	534	1,54	2,2
Orocó	13.536	412	233	2,08	2,36
Petrolândia	33.273	2.461	1.200	0,96	2,99
Petrolina	305.352	21.363	11.812	1,13	2,66
Santa Maria da Boa Vista	39.816	1.552	712	1,15	2,4
Total	515.577	34.551	18.161		

ETA: estação de tratamento de água.

os municípios no estado de Pernambuco podem ser observadas no Gráfico 4.

O abastecimento dos municípios ao longo do Rio São Francisco tem benefícios marginais (valores econômicos) mais elevados nos seus pontos de operação em comparação com os usos de água para irrigação difusa. Os pontos de operação do abastecimento humano envolvem em geral quantidades de água bem menores do que a irrigação, o que explicaria o maior valor de uma unidade adicional do recurso nesse ponto. Diferenças significativas entre as curvas de demanda do abastecimento humano dos diversos municípios foram observadas e podem ser explicadas por conta das distintas características dos seus sistemas de

abastecimento de água, tais como perdas, tarifas praticadas e despesas.

Uma investigação efetuada na região de Piranhas-Açu (DENIS *et al.*, 2011), que apresenta algumas características climáticas e econômicas semelhantes a nossa área de estudo, utilizou custos médios (ponto de operação) na mesma ordem de grandeza para o setor de abastecimento humano. Na região do submédio do Rio São Francisco os custos médios são de 0,67 R\$/m³, e na região de Piranhas-Açu os custos foram de 0,59 a 0,96 R\$/m³. Já os benefícios variaram em função da arrecadação muito diferente das companhias de abastecimento de água em cada município.

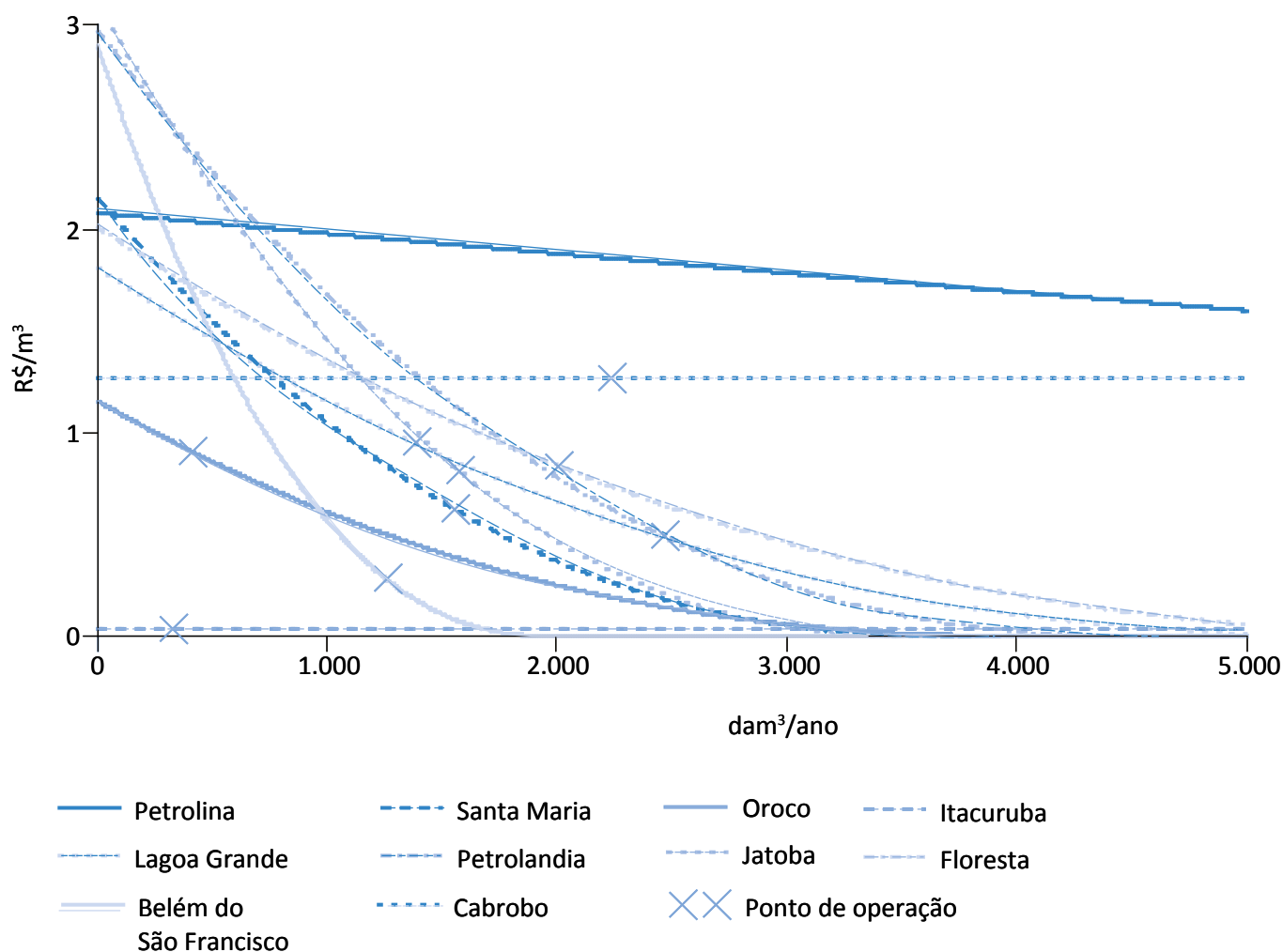


Gráfico 4 – Curvas de demanda do abastecimento humano dos municípios de Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria, Petrolândia, Oroco, Jatobá, Itacuruba, Floresta, Belém do São Francisco e Cabrobó usando o método de expansão de ponto.

CONCLUSÕES

As curvas de demanda da água mostram características variáveis, em função das propriedades dos usuários e das mudanças nas condições observadas. A PMP adaptou-se bem às condições de dados existentes para os perímetros irrigados localizados no submédio do Rio São Francisco. Os resultados do método de expansão de ponto mostraram similaridades nas ordens de grandeza dos valores nas curvas de demanda obtidas com a PMP.

O método de expansão de ponto é bem mais simples do que a PMP e menos intensivo em dados, mas deve-se ter clareza acerca de suas limitações, como, por exemplo, o uso da elasticidade-preço constante na curva de demanda e do custo médio no ponto de operação como uma *proxy* do custo marginal. Para a última observação, ressalta-se que no caso da irrigação difusa, como em geral ela é desenvolvida por iniciativas pri-

vadas e pequenos irrigantes, se espera que ela esteja operando num ponto próximo do ótimo e, assim, que o custo médio seja igual ao marginal. Relativo aos valores de elasticidade-preço constantes, os valores de elasticidade-preço variáveis podem ser facilmente obtidos pelo método PMP, que foi aplicado nos perímetros públicos. Esses valores podem auxiliar na verificação da consistência dos valores constantes ora utilizados no método de expansão do ponto.

Salienta-se a necessidade de estudos como este para que sejam validados os parâmetros necessários à aplicação de modelos hidroeconômicos. Análises de sensibilidade concernentes aos parâmetros das curvas ora obtidos, quando do uso de tais curvas para a obtenção da solução de alocação econômica ótima, são recomendadas na tomada de decisão e na avaliação de políticas de água.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União na bacia do São Francisco*. 2014. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/BaciaSF_Inicial.aspx>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Outorgas emitidas pela ANA: 2001-2013*. 2013. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>>. Acesso em: 2013.
- BOOKER, J. F.; MICHELSEN, A. M.; HOWITT, R. E.; YOUNG, R. A. Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resource Modeling Journal*, v. 25, n. 1, 2012. DOI: 10.1111/j.1939-7445.2011.00105.x
- BRASIL. MIN – Ministério da Integração Nacional. *Plano estratégico de desenvolvimento sustentável do semi-árido*. Brasília: MIN, 2005.
- BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). *Resolução CNRH n.º 108, de 13 de abril de 2010*. Brasília, 2010.
- CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. *Relatório de Gestão*. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. 2006.
- DALHUISEN, J. M.; FLORAX, R. J. G. M.; GROOT, H. L. F. M.; NIJKAMP, P. Price and income elasticities of residential water demand: why empirical estimates differ. *Tinbergen Institute Discussion Paper*, Amsterdã, n. 01-057/3, 2001.
- DENYS, E. *et al. Oficina para apresentação de resultados de disponibilidade de água e demanda presente e futuras bacias do Jaguaribe e piranhas-açu, com discussão sobre desafios detectados na alocação de água no contexto de mudanças climáticas*. Relatório de pesquisa. ed. [S.l.]: [s.n.], 2011.

EMPRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Solos do submédio do vale do São Francisco*. Petrolina: Embrapa, 2008.

FIGUEIREDO, L. E. N. & MORAES, M. M. G. A. A demanda da água para irrigação para os perímetros públicos do submédio do Rio São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015. *Anais...*, Brasília, 2015.

FUNARBE – FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. *Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil*. Brasília, 2011.

GRIFFIN, R. C. *Water resource economics: the analysis of scarcity, policies, and projects*. Cambridge: MIT Press, 2006.

HAROU, J. J.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; ROSENBERG, D. E.; MEDELLIN-AZUARA, J.; LUND, J.; HOWITT, R. Hydro-economic models: concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, p. 627-643, 2009. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.037.

HOWITT, R. E. Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 77, n. 2, p. 329-342, 1995.

HOWITT, R. E.; MEDELLÍN-AZUARA, J.; MACEWAN, D.; LUND, J. R. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modelling & Software*, v. 38, p. 244-258, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2006*. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção agrícola municipal*. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

LIPSEY, R. G. *First principles of economics*. Oxford: Colin Harbury, 1988.

MANETA, M.; TORRES, M. O.; WALLENDER, W.; HOWITT, R. E.; VOSTI, S.; RODRIGUES, L.; BASSOI, L. A spatially distributed hydro-economic model to assess the effects of drought on land use, farm profits, and agricultural employment. *Water Resources Research*, v. 45, 2009. DOI: 10.1029/2008WR007534

MEDELLIN-AZUARA, J.; HOWITT, R. E.; WALLER-BARRERA, C.; MENDOZA-ESPINOSA, L. G.; LUND, J. R.; TAYLOR, J. E. A calibrated agricultural water demand model for three regions in northern baja California. *Agrociência*, v. 43, n. 2, p. 83-96, 2009.

MORAES, M. M. G. A. D. *et al.* SSD espacial para la gestión óptima de sistemas de recursos hídricos incorporando modelos hidroeconómicos. In: SOLERA, B. S.; PAREDES, J.; ANDREU, J.; PEDRO, M. *Aplicaciones de sistemas soporte a la decisión en planificación y gestión integradas de cuencas hidrográficas*. Barcelona: Marcombo, 2013.

MORAES, M. M. G. A.; SAMPAIO, Y.; CIRILO, J. A. Integração dos componentes econômico e hidrológico na modelagem de alocação ótima de água para apoio a gestão de recursos: uma aplicação na bacia do Pirapama. *Revista Economia*, v. 7, n. 2, 2006.

SCHEIERLING, S. M.; LOOMIS, J. B.; YOUNG, R. A. Irrigation water demand: a meta-analysis of price elasticities. *Water Resources Research*, v. 42, n. 1, 2006. DOI: 10.1029/2005WR004009.

SILVA, G. S. D.; MORAES, M. M. G. A. D.; SILVA, A. C. S. D. Delimitação das áreas irrigadas no trecho do sub-médio do Rio São Francisco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DE NORDESTE, 12., Natal, 2014. *Anais...*, Natal, 2014.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Brasília: PMSS, 2012.

TILMANT, A.; PINTE, D.; GOOR, Q. Assessing marginal water values in multipurpose multireservoir systems via stochastic programming. *Water Resources Research*, v. 44, n. 12, 20 dez. 2008.

TORRES, M. O.; MANETA, M.; HOWITT, R. E.; VOSTI, S. A.; WALLENDER, W. W.; BASSOI, L. H.; RODRIGUES, L. N. Economic impacts of regional water scarcity in the São Francisco River Basin, Brazil: an application of a linked hydro-economic model. *Environment and Development Economics*, v. 17, n. 2, p. 227-248, 2012. DOI: 10.1017/S1355770X11000362

VARIAN, H. R. *Microeconomia: conceitos básicos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

VERA, L. H. A. *Atuação da cobrança pelo uso da água de domínio da União como instrumento de gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio São Francisco*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade FEderal de Pernambuco, Recife, 2014.

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DA ATIVIDADE AQUÍCOLA EM PERNAMBUCO

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL REGULARIZATION PROCEDURES ON AQUACULTURE ACTIVITIES IN PERNAMBUCO

Érika Alves Tavares Marques

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brasil.

Maria do Carmo Martins Sobral

Doutora em Engenharia Civil na UFPE – Recife (PE), Brasil.

Maristela Casé Costa Cunha

Doutora em Oceanografia na Universidade do Estado da Bahia (Uneb) – Salvador (BA), Brasil.

Maiara Gabriele Souza de Melo

Doutora em Engenharia Civil no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – João Pessoa (PB), Brasil.

Endereço para correspondência:
Érika Alves Tavares Marques – Rua Professor Júlio Ferreira de Melo, 756, apto. 201 – Boa Viagem – CEP 51020-231 – Recife (PE), Brasil – E-mail: erikatmbio@gmail.com

RESUMO

O Brasil apresenta potencial para expansão da aquicultura por conta das características hidroclimáticas, da matriz energética e da oferta de mão de obra. Apesar disso, o estado de Pernambuco possui produção aquícola aquém de suas potencialidades. Os produtores afirmam que isso se deve em parte às dificuldades para obtenção do licenciamento ambiental. Nessa perspectiva, o objetivo deste estudo foi analisar o processo de regularização ambiental da aquicultura em Pernambuco, a fim de identificar os principais entraves para obtenção do licenciamento ambiental. Foram levantadas 74 licenças ambientais emitidas no período compreendido entre 2009 e 2014 para empreendimentos aquícolas no estado de Pernambuco, dos quais 12 estão relacionados com licenciamento de instalação, 13 com licença de operação, 23 com licença prévia, seis com renovação de licença de instalação e 20 com renovação da licença de operação. Em Pernambuco foram identificadas quatro outorgas e emitidos 25 registros gerais da atividade pesqueira de 2008 a 2015.

Palavras-chave: política pesqueira; regularização ambiental; aquicultura.

ABSTRACT

Brazil has potential for the expansion of aquiculture due to its hydro-climatic characteristics, its energy matrix and its labour supply. Although the favourable framework, the state of Pernambuco has an aquaculture production that remains below its potentialities. Producers point out the difficulties to obtain environmental license as a reason for that. From this perspective, the objective of this study was to analyse the environmental regularization of aquaculture in Pernambuco, in order to identify the main obstacles faced by fish farmers for environmental licensing. Seventy-four environmental licences were raised for aquaculture projects issued in the period 2009-2014 in the state of Pernambuco: 12 are related to installation license, 13 to operating license, 23 to prior license, six to the installation license renewal and 20 with renewal of operating licence. In Pernambuco four grants were identified and twenty-five general records of fishing activity were issued in the period from 2008 to 2015.

Keywords: fisheries policy; environmental licensing; aquaculture.

INTRODUÇÃO

A pesca e a aquicultura constituem atividades fundamentais para a garantia da segurança alimentar mundial. Por meio do trabalho autônomo ou contratado, contribuem para a redução da pobreza e diminuição de desigualdades entre as zonas rural e urbana, além da geração de renda nacional e internacional via comércio. Para tanto, a conservação dos recursos aquáticos explorados pelo homem, bem como a dos ecossistemas, é fator essencial para a sustentabilidade das atividades a longo prazo, para a continuidade da pesca à alimentação humana e para a manutenção dos níveis de emprego (BRASIL, 2011a). De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) n.º 413/2009, a aquicultura compreende o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático (BRASIL, 2013).

Essa atividade gera um produto interno bruto (PIB) pesqueiro nacional de R\$ 5 bilhões, mobiliza 800 mil profissionais e proporciona 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos. A meta do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) é incentivar a produção nacional para que, em 2030, o Brasil alcance a expectativa da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO): ser um dos maiores produtores do mundo, com 20 milhões de toneladas de pescado por ano. Hoje o país ocupa a 17.ª posição no *ranking* mundial na produção de pescados em cativeiro e a 19.ª na produção total de pescados (ACEB, 2014).

No Brasil, a atividade aquícola ainda apresenta elevado percentual de informalidade. Essa situação tem como consequências mais danosas a impossibilidade de acesso às políticas públicas de fomento (crédito/seguro, mercados institucionais, infraestrutura, seguridade social etc.) e a perpetuação da exclusão social de pequenos produtores. Diante desse cenário, o governo federal, por meio do MPA e de outros importantes parceiros, está conduzindo uma estratégia nacional para a regularização dos empreendimentos aquícolas. Entre os parceiros do ministério se encontram a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema), a Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente (Anamma) e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) (BRASIL, 2014).

Desde a década de 1930, praticamente todo o crescimento da produção mundial de pescados ocorre em função da expansão da aquicultura. No Brasil, apesar das dificuldades legais como problema para obtenção de licenciamento ambiental, da excessiva carga tributária e da falta de um programa governamental para a extensão e assistência técnica aquícola, a aquicultura ainda responde por boa parte do crescimento da produção nacional de pescados (SONODA *et al.*, 2015). Geralmente os aquicultores relatam a complexidade e a dificuldade do licenciamento de atividades aquícolas e envolvem muitas e diferentes instituições (VENTURIERI, 2000; ELER *et al.*, 2006).

O licenciamento ambiental é o principal obstáculo à expansão dos cultivos (Gráfico 1). A expansão da piscicultura no país tem sido fortemente limitada pela dificuldade do licenciamento ambiental dos cultivos, que depende da anuência de quatro agências da União — Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Marinha e Superintendência do Patrimônio da União (SPU) — e do órgão ambiental do estado onde o projeto será implantado. Isso torna o licenciamento oneroso e demorado, fazendo com que muitos pleitos se arrastem por longos períodos. Pleitos com mais de seis anos sem qualquer deferimento ou satisfação aos solicitantes são casos comuns (KUBITZA, 2013).

Sem as licenças ambientais de implantação e operação dos seus empreendimentos, especialmente nos grandes reservatórios públicos, os empresários (pequenos ou grandes) não encontram um ambiente seguro, tampouco conseguem obter crédito, para a implantação e expansão dos seus cultivos. Por esse motivo, a produção da aquicultura no Brasil é bem inferior à registrada em países com muito menos recursos naturais do que nós (KUBITZA, 2013).

De acordo com Thiago (2002), um dos maiores problemas em relação aos licenciamentos é o fato de que faltam instrumentos específicos, incentivadores ou desincentivadores, que auxiliem e garantam o desenvolvimento sustentável da aquicultura e promovam a proteção ambiental. No entanto o analista ambiental Carlos Frosch enfatiza a importância e a necessidade do processo de licenciamento argumentando que, se o empreendedor observar a legislação (federal e es-

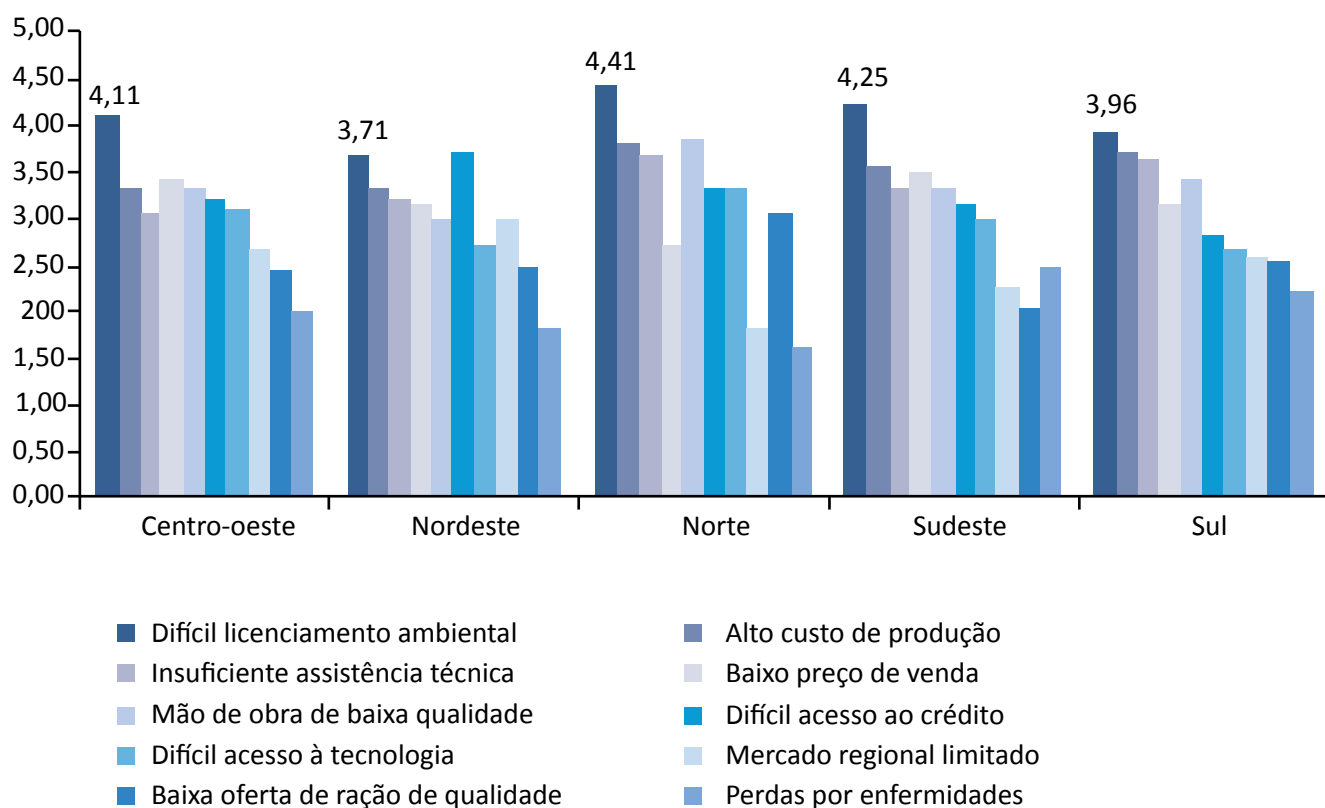


Gráfico 1 – Fatores que limitam a expansão da piscicultura em diferentes regiões do país (KUBITZA, 2012).

tadual) desde a elaboração até a implantação e operação do projeto, a sustentabilidade ambiental estará assegurada. Além disso, o produtor poderá utilizar os instrumentos específicos como um selo de qualidade para atrair sua clientela.

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho foi analisar o processo de regularização ambiental da aquicultura no estado de Pernambuco. Para isso, foram analisados: as solicitações de Registro Geral da Atividade Pesqueira fornecido aos aqüicultores em Pernambuco; os licenciamentos ambientais da piscicultura em Pernambuco, com base nos processos protocolados no MPA; e a concessão de termos de outorgas para uso de água para aquicultura pela ANA para empreendimentos localizados no estado pernambucano. A partir de então foi possível identificar os principais entraves enfrentados pelos piscicultores para obtenção do licenciamento ambiental, bem como propor algumas estratégias para aprimorar o processo de regularização ambiental da atividade aquícola.

Atualmente, são muitos os sistemas normativos e as normas isoladas que incentivam a gestão ambiental das atividades produtivas e disciplinam sobre ela, especialmente do licenciamento ambiental também da aquicultura (DIAS, 2015). Como nos demais ambientes institucionais, a aquicultura é diretamente afetada pelas leis do solo, da água, do meio ambiente, da conservação de recursos naturais, da sanidade animal e da caça e pesca (Quadro 1), de maneira genérica, por leis de saúde pública, sanitárias, de exportação e importação, tributárias, entre outras (THIAGO, 2002; TIAGO & GIANESELLA, 2003).

A Resolução Conama n.º 237/1997 define o licenciamento ambiental como procedimento administrativo pelo qual o órgão competente licencia a localização, a instalação, a ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou que possam causar degradação ambiental (BRASIL, 1997).

Corrêa (2011) descreve o licenciamento ambiental como um dos mais importantes instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Já Teixeira (2010) define esse instrumento como uma das manifestações de poder de polícia do estado, e, por meio dele, a administração pública limita o direito de empreender para garantir que tal direito não exceda certos limites para o uso dos recursos naturais, com os objetivos maiores de proteger o ambiente e garantir a sadia qualidade de vida.

O processo de licenciamento ambiental é composto por três tipos de licença: prévia ou localização, de instalação e de operação. Cada uma é exigida em uma etapa específica do licenciamento e segue certa sequência lógica de encadeamento (DELL'ORTO, 2009), conforme demonstrado a seguir:

- prévia (LP): é a primeira etapa do licenciamento. Para sua obtenção, o interessado deve procurar o órgão ambiental competente na fase de planejamento do projeto. O órgão ambiental define os documentos, os projetos e os estudos ambientais necessários ao início do processo do licenciamento. Em seguida o empreendedor contrata a elaboração dos estudos ambientais, que têm de contemplar todas as exigências determinadas pelo órgão licenciador. Nessa fase ainda não é apresentado o projeto básico, que somente é elaborado após expedida a licença prévia. Após pagamento e retirada da licença prévia, o empreendedor deve publicar informativo comunicando a concessão no diário oficial da esfera de governo que licenciou e em jornal de grande circulação (TCU, 2007);
- instalação (LI): após a concessão da LP, o próximo passo do empreendedor é elaborar o projeto básico do empreendimento, com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, de forma a assegurar a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento. O projeto deve possibilitar a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução. Durante a vigência da LI, o empreendedor precisa implementar as condicionantes determinadas, com o objetivo de prevenir ou remediar impactos ambientais que possam ocorrer durante a fase de construção da obra, por meio de medidas que devem ser tomadas antes do início da operação (TCU, 2007);
- operação (LO): ao requerer a LO, o empreendedor deve comprovar ao órgão ambiental que concedeu a LP e a LI: a implantação de todos os programas ambientais a serem executados durante a vigência da LI; a execução do cronograma físico-financeiro do projeto de compensação ambiental; o cumprimento de todas as condicionantes estabelecidas quando

Quadro 1 – Principais leis vinculadas ao licenciamento de empreendimentos de aquicultura (DIAS, 2015).

Legislação	Ementa
Lei n.º 12.727/2012	Altera a Lei n.º 12.651/2012 (Novo Código Florestal)
Lei n.º 4.771/1965	Institui o Código Florestal
Decreto-Lei n.º 221/1967	Lei básica da Pesca, Código de Pesca
Lei n.º 6.938/1981	Política Nacional do Meio Ambiente
Lei n.º 7.661/1998	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
Lei n.º 9.433/1997	Política Nacional de Recursos Hídricos
Lei n.º 9.636/1998	Regulamentação/administração/alienação de bens imóveis da União
Decreto n.º 4.897, de 25/11/2003	Águas de domínio da União para atividades de aquicultura
Resolução Conama n.º 001/88	Cadastro Técnico Federal de Atividades
Resolução Conama n.º 413/2009	Normas e critérios para o licenciamento ambiental da aquicultura

Conama: Conselho Nacional do Meio Ambiente.

da concessão da LI e LP (TCU, 2007). Autoriza-se a operação da atividade ou do empreendimento após a verificação do efetivo cumprimento das exigências constantes das licenças anteriores e do estabelecimento das condições e dos procedimentos, a ser observados para essa operação.

A licença ambiental é boa para os produtores na medida em que visa à sustentabilidade ambiental do seu empreendimento, o que garante o melhor uso dos recursos naturais disponíveis e a consequente continuidade do processo produtivo, com redução de riscos ao investimento. A regularização também é importante para atender aos mercados, que se tornam cada vez mais exigentes quanto aos aspectos ambientais, e, não menos importante, traz segurança quanto à atuação da fiscalização ambiental e à consequente punição com advertência, multa ou embargo (suspensão da operação). Atualmente os produtores só podem ter acesso às políticas públicas de fomento, tais como o crédito agrícola, incentivos, isenções, programas de aquisição de alimentos do governo etc. se estiverem regulares do ponto de vista ambiental (SEBRAE & MPA, 2011).

Os empreendimentos de aquicultura seguem as regras gerais para o licenciamento ambiental, conforme definidas pela Lei n.º 6.938/81. Sendo assim, para efeito de divisão das competências, a dimensão do impacto direto (local, regional, nacional) constitui a regra geral que define qual órgão vai efetuar o licenciamento ambiental (SEBRAE & MPA, 2011).

Durante décadas a aquicultura sofreu com a inexistência de uma norma específica para a regularização ambiental de seus empreendimentos. Essa situação mudou após 26 de junho de 2009, quando foi publicada a Resolução n.º 413 do Conama, na tentativa de solucionar as dificuldades impostas aos produtores, o que resultou de negociação entre os setores do governo, da sociedade civil e dos produtores (SEBRAE & MPA, 2011).

Diante da crescente importância nos cenários mundial e nacional, a aquicultura passou a ser considerada estratégica para o governo brasileiro (ROCHA *et al.*, 2013). Em 2003 o governo federal criou a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (Seap), que em 2009 foi transformada em Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) (SCORVO-FILHO & FRASCÁ-SCORVO, 2011).

Desde então, a pesca, historicamente negligenciada pelas políticas públicas, e a aquicultura vêm recebendo investimentos importantes para o fomento da atividade (BRASIL, 2011a).

Entre as dificuldades sofridas pelos aquicultores, havia a ausência de regularização ambiental dos empreendimentos, taxas e preços superiores à capacidade de pagamento dos pequenos produtores, problemas para atender à complexidade de informações necessárias ao procedimento do licenciamento ambiental, longo tempo para análise dos pleitos e impedimento de acesso ao crédito, com consequente desestímulo ao investimento em boas práticas de produção (SAMPAIO, 2010).

Em 2013 o Conama aprovou novas diretrizes nacionais que alteraram a Resolução n.º 413/2009, tornando mais simplificado e ágil (sem perder a eficácia) o licenciamento ambiental para empreendimentos aquícolas. De acordo com essa resolução, a licença ambiental passou a ser única, por meio de procedimento simplificado, para as áreas/os parques aquícolas que se situam em reservatórios artificiais. Entre os critérios para a concessão da licença simplificada, é necessária a utilização de espécie nativa ou autóctone (natural da região ou do território em que habita). Também pode ser empregada espécie alóctone (não originária da região ou do território em que habita) ou exótica, desde que sejam apresentadas medidas de mitigação de possíveis impactos. A nova resolução prevê, ainda, a apresentação de anteprojeto técnico do empreendimento aquícola, bem como o estudo ambiental e o programa de monitoramento da área (MONITOR DIGITAL, 2013).

Segundo o MPA (BRASIL, 2011a), foram identificados no Brasil, inicialmente, 174 territórios com presença de pesca e aquicultura. Neles estão presentes 89,8% dos pescadores e pescadoras cadastrados no Registro Geral de Pescadores, 80% das áreas de alta incidência da prática de aquicultura continental, 100% das áreas com potencial para atividades de maricultura e 85% dos reservatórios com potencial para a aquicultura. Em 2009 começou a implantação da Política Territorial da Pesca e Aquicultura em 60 territórios; a cada ano, novos territórios são incorporados.

Compete ao MPA a organização e a manutenção do Registro Geral da Atividade Pesqueira, instrumento do governo federal que visa contribuir para a gestão e

o desenvolvimento sustentável da atividade pesqueira, em atendimento ao disposto na Lei n.º 11.959, de 26 de junho de 2009 (BRASIL, 2015a). Para qualquer uma das categorias do Registro Geral da Pesca (aquicultor, pesque e pague, empresa que comercializa animais aquáticos vivos e indústria pesqueira), toda pessoa física ou jurídica necessita do registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras dos Recursos Ambientais. O registro é feito automaticamente por meio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), ou solicitado diretamente ao Ibama (GARUTTI, 2003).

Antes de iniciar a aquicultura é necessário que o interessado possua licença ambiental, a ser requerida no órgão ambiental competente, no estado em que se localiza a atividade, no entanto, por conta das muitas dificuldades relacionadas ao licenciamento ambiental, poucos são os aquicultores instalados que alcançaram a produção aquícola de maneira legal. Assim, poucos também são os aquicultores que possuem Licença do Aquicultor, documento que caracteriza o produtor como aquicultor legal (RONDÔNIA AO VIVO.COM, 2016).

O piscicultor precisa estar informado e atento, uma vez que as solicitações de autorização ou concessão, as licenças de execução e os registros devem ser encaminhados para diferentes órgãos da administração pública. Tais solicitações são praticamente independentes umas das outras, e ter a outorga ou a concessão de um órgão não significa ter a outorga ou concessão de outro órgão. Além disso, é preciso encaminhar a todos os órgãos a documentação exigida para as solicitações específicas (GARUTTI, 2003).

De acordo com o § 2.º da Resolução Conama n.º 413/2009, no caso do licenciamento ambiental de empreendimentos aquícolas localizados em águas de domínio da União, além do disposto nessa resolução, devem ser seguidas as normas específicas para a obtenção de autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União. As águas da União são aquelas que banham mais de um estado da federação, fazem fronteira entre estados nacionais e com outros países. Também estão nessa condição as águas acumuladas em represas construídas com aporte de recursos da União e o mar territorial brasileiro, incluindo baías, enseadas e estuários, além das zonas de mar aberto,

que podem ser utilizadas para cultivo *offshore* (longe da praia ou da costa) (BANCO DO BRASIL, 2010).

Em qualquer parte do país, os projetos não licenciados pelos órgãos ambientais competentes estão sujeitos às sanções como: advertências, multas, paralisação temporária ou definitiva da atividade, incluindo as penalidades previstas na Lei de Crimes Ambientais. Além da obrigatoriedade legal, a licença é requisito para obtenção de financiamentos e certificação de produtos, tanto para o mercado interno quanto para o externo (DELL'ORTTO, 2009).

Para se instalar tanques rede em hidrelétricas ou em águas navegáveis, ou quando houver a necessidade de desviar águas navegáveis para o abastecimento dos tanques de criação ou crescimento, a Marinha do Brasil deve ser consultada. Para a legalização dos projetos de piscicultura em tanque rede em águas da União, é necessário o atendimento à Instrução Normativa Interministerial n.º 6, que estabelece os critérios para a autorização de uso dos espaços físicos em corpos d'água da União para fins de aquicultura (ROCHA & VITAL, 2012).

A cessão de águas da União, aproveitando o potencial e a disponibilidade nacional, é uma boa oportunidade para a aquicultura. As águas brasileiras pertencem à União, mas são cedidas por 20 anos, renováveis por mais 20, para a prática aquícola. Apesar das dificuldades, longos prazos de tramitação e burocracias, assunto que será explorado à frente, o MPA tem amadurecido o processo de cessões (SIDÔNIO *et al.*, 2012a).

A atividade de aquicultura é formalmente regida por procedimentos de várias instituições, que não podem estar dissociadas da área ambiental, responsável pelo licenciamento ambiental, pelo planejamento ambiental da aquicultura, por políticas de preservação, conservação e de uso sustentável de ecossistemas e da biodiversidade e, sobretudo, pelo controle das espécies exóticas (AGU, 2013). Competências das instituições para o licenciamento ambiental da Aquicultura estão expostas no Quadro 2.

O artigo 21 da Resolução Conama n.º 413/2009 determina que no encerramento das atividades de aquicultura deve ser apresentado ao órgão ambiental um Plano de Desativação e Recuperação, com cronograma de execução.

Por ser considerada atividade de baixo impacto ambiental e produzir alimento saudável, alguns estados/governos já adotam o licenciamento ambiental simplificado, e até mesmo estão liberando a necessidade dessa licença para projetos aquícolas de menor porte, a exemplo do governo do Acre, que dispensa a licença ambiental para projetos aquícolas de até 5 ha. Outro avanço foi a publi-

cação da Resolução Conama n.º 413, de 26 de junho de 2009, que, conforme o artigo 7.º, os empreendimentos de pequeno porte e que não sejam potencialmente causadores de significativa degradação do meio ambiente podem ser dispensados do licenciamento ambiental, a critério do órgão ambiental licenciador, desde que cadastrados nesse órgão (BRASIL, 2012b).

Quadro 2 – Competências das instituições para o licenciamento ambiental.

Órgão	Competência
Agência Nacional de Águas (ANA)	Outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos d'água de domínio da União. A regulamentação e emissão das outorgas é uma das suas atribuições (ANA, 2013).
Secretaria do Patrimônio da União (SPU)	Emitir pareceres sobre a regularidade e autorizações de uso para áreas de propriedade da União, reguladas pela Lei n.º 9.636/98, que, entre outros aspectos, dispõe sobre a regularização, o aforamento e a alienação de bens imóveis de domínio da União (BRASIL, 2002).
Ministério do Meio Ambiente (MMA)	Fazer o registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras dos Recursos Ambientais (BRASIL, 2002).
Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA)	Cabe ao MPA e ao IBAMA, em conjunto, e sob a coordenação do primeiro, fixar as normas, os critérios, os padrões e as medidas de ordenamento de uso sustentável dos recursos pesqueiros, com base nos melhores dados científicos e existentes, na forma de regulamento (AGU, 2013).
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)	
Marinha do Brasil (MMB)	Avaliar a execução de obras sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição brasileira, emitindo parecer no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação, sem prejuízo das obrigações perante os demais órgãos competentes (GARUTTI, 2003).
Secretarias Estaduais do Meio Ambiente (Sema)	É competência comum da União, dos estados e dos seus municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, bem como preservar as florestas, a fauna e a flora. Com relação ao licenciamento ambiental, compete analisar o conteúdo dos relatórios apresentados e pode recomendar ao secretário de Estado do Meio Ambiente que torne sem efeito a delegação, caso sejam constatadas irregularidades que impossibilitem a continuidade do convênio (SEMAS, 2013).
Secretarias Municipais do Meio Ambiente (SMMA)	

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estado de Pernambuco (Figura 1) possui 98.311 km² e localiza-se no centro-leste da Região Nordeste. Ele faz limite com a Paraíba, o Ceará, o Alagoas, a Bahia e o Piauí. Também faz parte do território pernambucano o arquipélago de Fernando de Noronha, a 545 km da costa. Possui 185 municípios, com o total de 8.796.032 habitantes, e tem a cidade do Recife como sua capital (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2016).

Em Pernambuco a produção de pescado da aquicultura marinha em 2011 foi de 4.554,8 t, representando 5,41% da produção nacional para o período. Com relação à produção da aquicultura continental nesse estado, chegou-se ao número de 8.243,3 t, representando 1,51% da produção nacional (ICMBIO, 2011).

Conforme destaca o diagnóstico do arranjo produtivo local (APL) da piscicultura no estado, tradicionalmente os recursos hídricos de Pernambuco são monitorados visando principalmente ao abastecimento das populações e dos rebanhos. Esse fato tem contribuído para

a manutenção de um quadro geral de subutilização, contrastando com o volume de água disponível nas principais barragens que apresentam potencial para a atividade da piscicultura. Tal aspecto foi constatado em açudes públicos e represas pernambucanas, em que a pesca garante aos pescadores e a suas famílias a sobrevivência, embora a piscicultura seja uma atividade comprovadamente lucrativa. Paralelamente a essa situação, verifica-se que tem crescido o interesse na atividade da piscicultura, sobretudo em tanque rede, por parte de grupos organizados, ou que estão organizando-se, em associações e colônias de pescadores (PRORURAL, 2007).

Em Pernambuco, a pesca industrial não se configura como um entrave ao pescador artesanal. A atividade apresentou queda de 76,6% na produção em 2007, de acordo com o relatório Estatística da Pesca, do Ibama (2007), produzido no mesmo ano. Os pernambucanos são responsáveis por apenas 1,9% de todo o pescado brasileiro, de acordo com o relatório Produção Pes-



Figura 1 – Estado de Pernambuco, com detalhe para os principais polos de aquicultura na Região Metropolitana do Recife e na Região de Desenvolvimento de Itaparica.

queira e Aquícola do MPA feito em 2010 (BRASIL, 2012a). Desses quase 2% produzidos, menos de 1% é proveniente da pesca industrial, 23% vêm da aquicultura e 76% da pesca artesanal. A carcinicultura, produção de camarões em cativeiro, é o maior exemplo do conflito entre a pesca artesanal e a aquicultura em Pernambuco. De acordo com o economista

Tarcísio Quinamo, pesquisador da Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), a carcinicultura gera problemas denunciados pelos pescadores há muito tempo. “O conflito dá-se, basicamente, em função dos impactos socioambientais que a atividade, da forma como foi desenvolvida aqui, gera”, afirma (*apud* ALMEIDA, 2010).

Procedimentos metodológicos

Obtiveram-se os dados por intermédio de pesquisa documental em fontes diretas e indiretas. Os documentos analisados foram disponibilizados pelo *site* do MPA e pela ANA e compreendem:

- licenciamentos ambientais emitidos no estado no período entre 2008 e 2015;
- Registros Gerais de Piscicultura fornecidos entre os anos de 2009 e 2014;

- emissão de outorgas para uso de água pela ANA para o estado de Pernambuco no período entre 2009 a 2014.

A pesquisa foi dividida em três partes. Inicialmente foi realizado um levantamento sobre os procedimentos para a obtenção do licenciamento ambiental. Na segunda parte se fez um levantamento acerca das licenças ambientais e dos Registros Gerais de Piscicultura emitidos no estado. Por fim foram apontados os avanços e as principais dificuldades para a obtenção do licenciamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado de Pernambuco produziu 1.889 t de organismos aquáticos de água doce no ano de 2009, número abaixo da média nacional e ainda mais quando comparado, no Nordeste, com a quantidade produzida pelo estado do Ceará, quarto maior produtor, com produção de 32.812 t (BRASIL, 2011b). Ainda em Pernambuco, a região que mais se destaca na piscicultura de água doce pertence ao Vale do São Francisco, com produção anual de 9.000 t nos canais de irrigação em áreas loteadas nos perímetros irrigados Nilo Coelho e Bebedouro (MELO *et al.*, 2011). Para Bernardino (2014), a produção aquícola nacional é caracterizada por ter muitos produtores mal organizados, desunidos e com pouca experiência administrativa, fato que dificulta a obtenção da regularização dos produtores.

A principal atividade aquícola desempenhada na área é a piscicultura, em tanques rede e em tanques escavados. A piscicultura no semiárido vem se expandindo significativamente como uma alternativa econômica de produção alimentar para a população local (MELO, 2015).

A Instrução Normativa n.º 16/2013 do MPA determina a necessidade de realização do registro de aquicultor, que é condicionada à existência de licença ambiental para a atividade. O interessado recebe a licença de aquicultor conforme a Instrução Normativa n.º 6/2011. O valor da taxa de pagamento é calculado de acordo com a área ou o volume das unidades de aquicultura requeridas, segundo a mesma instrução normativa (MELO, 2015).

Emissão de licença ambiental em Pernambuco: 2009 a 2014

No estado de Pernambuco, a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) é o órgão executor da política ambiental, tendo como âmbito de sua competência as atividades de prevenção, fiscalização e repressão na defesa do meio ambiente. A Lei n.º 12.916, de 8 de novembro de 2005, que dispõe sobre o licenciamento ambiental, infrações administrativas ambientais, e dá

outras providências, no Capítulo I indica as licenças ambientais como instrumento de atuação da CPRH. O processo de licenciamento ambiental dá-se mediante solicitação pelo interessado. A simples solicitação de licenciamento ambiental por si só não caracteriza a implantação do empreendimento (AURELIANO *et al.*, 2007).

A atividade da piscicultura apresenta grande índice de irregularidade ambiental por conta da burocracia e da dificuldade de adequação. Nesse sentido, a maior parte da eficácia das propostas aqui elencadas só será alcançada quando esses procedimentos forem desburocratizados e mais ágeis (MELO, 2015).

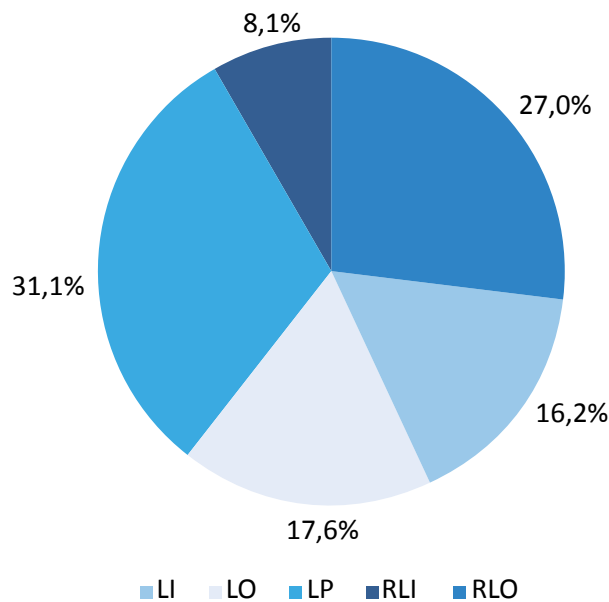
Foram levantadas 74 licenças ambientais emitidas no período compreendido entre 2009 e 2014 para empreendimentos aquícolas em Pernambuco, dos quais 12 estão relacionadas com LI, 13 com LO, 23 com LP, seis com Renovação de Licença de Instalação (RLI) e 20 com Renovação da Licença de Operação (RLO) (Gráfico 2).

A espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia-do-Nilo) é cultivada em 61 empreendimentos (82,4%), enquanto em 13 não foi declarada a espécie cultivada (17,6%). De acordo com Furlaneto e Ayroza (2006), a tilápia-do-Nilo vem ocupando lugar de destaque na piscicultura em tanques rede por ser uma espécie precoce e apresentar bom desempenho em sistemas intensivos de produção. É uma espécie originária dos rios e lagos africanos que foi introduzida no Brasil em 1971 em açudes do Nordeste e se difundiu para todo o país (PROENÇA & BITTENCOURT, 1994).

A maior parte dos empreendimentos é realizada em águas da União, e 41 estão instalados às margens da Usina Hidrelétrica (UHE) de Itaparica, 20 nas margens da UHE de Moxotó e 13 não tiveram seu local declarado (Gráfico 3).

Para o licenciamento da piscicultura em tanques rede, a ANA disponibiliza uma tabela com a relação dos reservatórios de domínio federal e a respectiva informação das quais possuem ou não capacidade de suporte para essa atividade, para atender à Resolução Conama n.º 413/2009, que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura (MELO, 2015).

O processo de licenciamento ambiental de tanques escavados em Pernambuco é realizado pela CPRH e é bastante simples, compreendendo o pagamento de uma taxa e expedição da licença. A outorga deve ser solicitada à Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac). Ressalta-se que todo o processo de licenciamento deve ser acompanhado de fiscalização para averiguação do cumprimento das condicionantes estabelecidas, sob pena de cancelamento da licença ambiental (MELO, 2015). Para o licenciamento da piscicultura em tanques escavados no solo, precisam ser solicitadas as



LI: Licença de Instalação; LO: Licença de Operação; LP: Licença Prévia;
 RLI: Renovação de Licença de Instalação; RLO: Renovação da Licença de Operação.

Gráfico 2 – Tipologia das licenças ambientais emitidas para a aquicultura em Pernambuco no período entre 2009 e 2014.

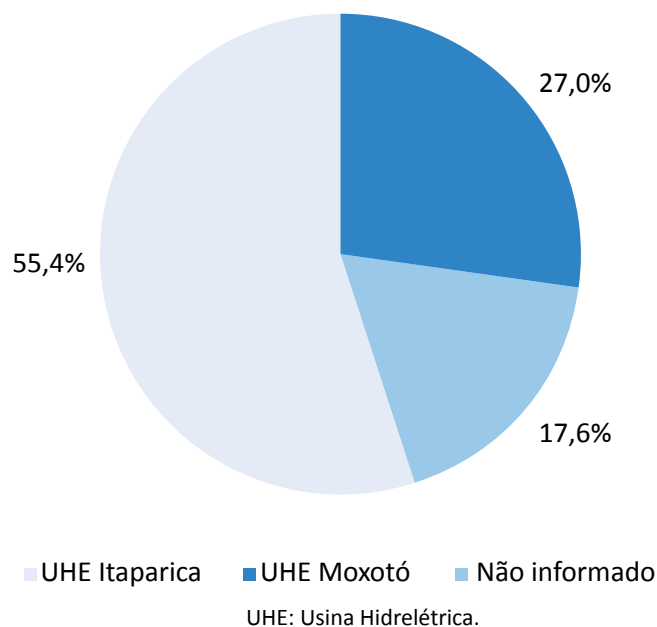


Gráfico 3 – Local dos empreendimentos licenciados para aquicultura no estado de Pernambuco no período de 2009 a 2014.

LP, LI e LO, consecutivamente. Os valores determinados pela Lei estadual n.º 12.916/2005 são apresentados no Quadro 3.

De acordo com Sidônio *et al.* (2012a), o licenciamento ambiental é um dos gargalos existentes na aquicultura. Por se tratar de uma atividade nova, há estados que não têm regras adequadas para a análise nem concessão de licenças para o segmento. Em alguns casos, as regras estaduais são mais restritivas do que a legislação federal. A grande demora

na concessão de licenças ambientais contribui para a informalidade do setor.

Nessa mesma perspectiva, outro avanço foi a publicação da Resolução Conama n.º 413, de 26 de junho de 2009, que, conforme o artigo 7.º, os empreendimentos de pequeno porte e que não sejam potencialmente causadores de significativa degradação do meio ambiente poderão ser dispensados do licenciamento ambiental, a critério do órgão ambiental licenciador, desde que cadastrados nesse órgão (BRASIL, 2011b).

Emissão de Registro Geral da Atividade Pesqueira em Pernambuco: 2009 a 2014

De acordo com o Sistema Nacional de Informações da Pesca e Aquicultura (Sinpesq), disponibilizado pelo MPA (BRASIL, 2011c), foram emitidos 25 Registros Gerais da Atividade Pesqueira para o estado de Pernambuco no período entre 2009 e 2014. Desse levantamento, 11 estão relacionados ao cultivo de peixes em tanque rede (44%), oito à carcinicultura (32%) e seis ao cultivo de peixes ornamentais (24%) (Gráfico 4).

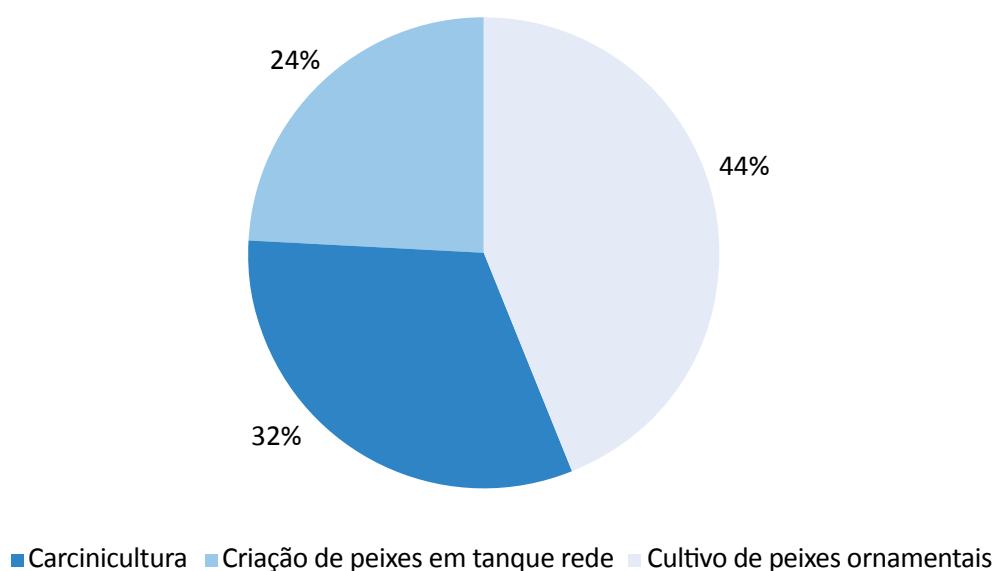
No tocante às regiões do estado que receberam o Registro Geral da Atividade Pesqueira, 12 pertencem a

municípios que fazem parte da Região Metropolitana do Recife (RMR), três a municípios da Zona da Mata, um do Agreste e nove que fazem parte do Sertão.

A produção de peixes em Pernambuco é bastante diferenciada, e no litoral é onde se concentra a maior comercialização e produção de peixes marinhos. Em contrapartida, a região do Vale do São Francisco tem produzido em abundância peixes de água doce de caráter econômico, como a tilápia-do-Nilo (GODOY-FILHO, 2013).

Quadro 3 – Valores das licenças ambientais para a piscicultura, conforme Lei estadual n.º 12.916/2005.

Tamanho da área ocupada pelo tanque escavado (ha)	Categoria	Valor da Licença Prévia (R\$)	Valor da Licença de Instalação (R\$)	Valor da Licença de Operação (R\$)
Até 5	F	241,97	483,94	362,95
5,1 a 10	G	362,95	725,91	483,94
10,1 a 30	H	483,94	967,88	725,91
30,1 a 100	I	725,91	1.451,83	967,88
Acima de 100	J	967,88	1.935,77	1.451,83

**Gráfico 4 – Números de Registro Geral de Piscicultura emitido em Pernambuco por atividade no período 2008-2015.**

Referente aos municípios de Pernambuco que receberam Registro Geral da Atividade Pesqueira, foram levantados 12 com atividades associadas à aquíicultura que receberam tal registro. Nos municípios da RMR e

da Zona da Mata predominam as atividades de carcinicultura e criação de peixes ornamentais, enquanto no Agreste e no Sertão prevalece a criação de peixes em tanque rede (Gráfico 5).

Emissão de outorgas em Pernambuco: 2009 a 2014

A outorga para uso de água é um instrumento instituído por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997. De acordo com a ANA (2011), ela é uma das ferramentas pelas quais o poder público autoriza o usuário, sob condições preestabelecidas, a utilizar ou realizar interferências hidráulicas nos recursos hídricos necessários à sua atividade, garantindo o direito de acesso a esses recursos. As outorgas são gratuitas e podem ser solicitadas pela internet. As resoluções de

outorga de direito de uso de recursos hídricos, aprovadas pela ANA, têm seu extrato publicado no Diário Oficial da União e são disponibilizadas integralmente no *site* da instituição.

Cabe à ANA a autorização de uso de espaço físico em corpos d'água de domínio da União, emitindo para tanto a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Nesse sentido, a metodologia utilizada pela agência

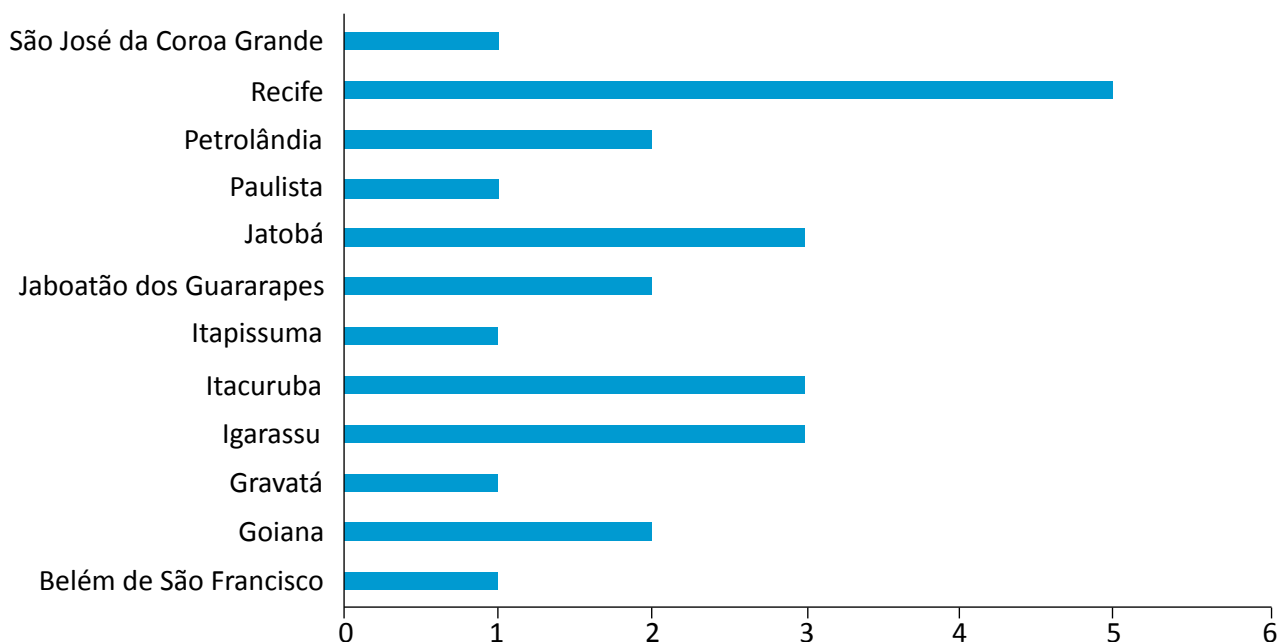


Gráfico 5 – Números de Registro Geral de Atividade Pesqueira emitido em Pernambuco por município no período entre 2008 e 2015.

para análise de pedidos de outorga para piscicultura em tanque rede baseia-se na estimativa da carga admissível e na concentração máxima permitida de fósforo no reservatório, estimadas por modelos matemáticos simplificados e concentrados, de modo a restringir o efeito de eutrofização no reservatório (AURELIANO *et al.*, 2007).

Os pedidos de outorga podem ser indeferidos em função do não cumprimento das exigências técnicas ou legais ou do interesse público, mediante decisão devidamente fundamentada, devendo ser publicada na forma de extrato no Diário Oficial da União (ANA, 2013).

De um total de 159 outorgas emitidas pela ANA para fins de aquicultura no período compreendido entre 2009 e 2014, foram identificadas quatro outorgas referentes ao estado de Pernambuco, correspondendo a 2,52% do total de outorgas. As outorgas foram emitidas para empreendimentos instalados nos municípios de Belém de São Francisco (uma outorga), Itacuruba (uma) e Petrolândia (duas) (Gráfico 6). Vale salientar que as referidas outorgas foram para a Região Hidrográfica do Rio São Francisco: 75% das outorgas emitidas no estado de Pernambuco foram para águas da União, mais especificamente para empreendimentos instalados na UHE de Itaparica (atual Luiz Gonzaga), e 25% para o Rio São Francisco.

De acordo com Rocha e Vital (2012), após a alteração do ambiente do Rio São Francisco pela construção da UHE, transformando um sistema lótico (águas correntes) em um sistema lântico (águas represadas), contribuiu-se para o declínio da pesca artesanal na região, contudo criaram-se, segundo Soares *et al.* (2007, p. 71), condições privilegiadas para o desenvolvimento da piscicultura intensiva em tanque rede. A piscicultura em tanque rede surgiu como uma resposta para o aumento da produção aquícola, principalmente nas regiões do submédio e baixo São Francisco, onde se localizam projetos nos reservatórios de Xingó, Itaparica e Paulo Afonso.

Soares *et al.* (2007) destacam ainda a importância da bacia do Rio São Francisco como referência obrigatória para a pesca artesanal e afirmam que pescadores e pessoas que viviam da pesca na região passaram a desenvolver a piscicultura como forma de produção.

Localizada no semiárido pernambucano, a Região de Desenvolvimento do Sertão de Itaparica abrange os municípios de Petrolândia, Floresta, Itacuruba e Jatobá. A região apresenta excelente potencial para o desenvolvimento da piscicultura continental por conta das condições hidroclimatológicas favoráveis, uma vez que é beneficiada pelo Rio São Francisco e pelo reservatório de Itaparica (atual Luiz Gonzaga). Essa é

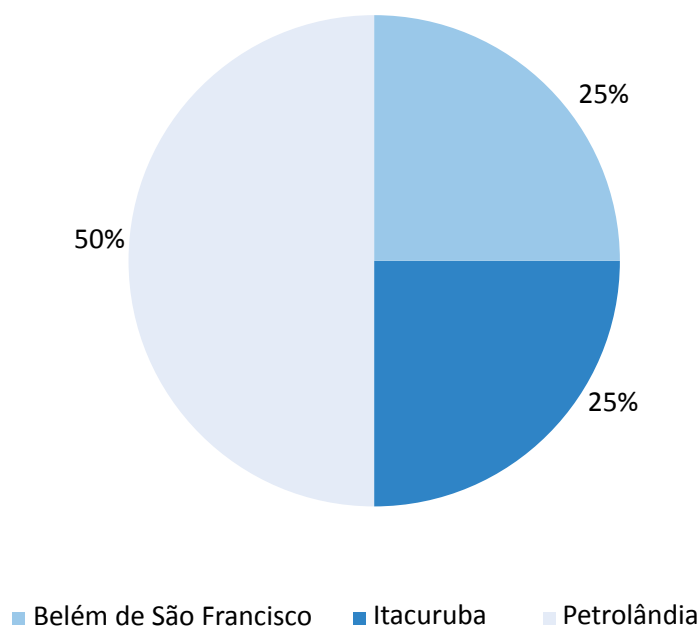


Gráfico 6 – Percentual de outorgas emitidas por municípios de Pernambuco no período entre 2009 e 2014.

a região do estado de Pernambuco que apresenta o maior potencial para consolidação do parque aquícola na produção de pescado e seus derivados. Somam-se ainda condições favoráveis à ampliação de canais de negócios entre agentes financeiros, produtores e piscicultores. Atualmente a Região de Desenvolvimento de Itaparica é caracterizada como um Arranjo Produtivo Local (APL), por apresentar boa organização na estrutura da cadeia produtiva, insumos, produção, beneficiamento, distribuição e comercialização. Atualmente existem 10 associações, entre elas de pescadores e outras de produtores familiares, todas com o seu respectivo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) regularizado. Desse montante, nove associações já receberam a outorga d'água (PRORURAL, 2007).

Dificuldades para a regularização ambiental da aquicultura

Sidônio *et al.* (2012b) descrevem que, apesar das melhorias recentes nos processos de concessão, ainda são muitos os desafios da aquicultura: agilizar as concessões, tornar o licenciamento ambiental mais eficiente, efetuar mais estudos, realizar monitoramento ambiental eficaz etc. A grande demora na concessão das licenças necessárias para as empresas produtoras de pescado (LP, LI, LO) contribuía para maior informalidade do setor. Conquanto ainda haja informalidade,

Com base na análise desenvolvida, consideram-se as outorgas liberadas como documentos técnicos de boa qualidade que fazem a diferenciação entre a quantidade de água e as horas disponíveis para captação nos diferentes meses do ano. Ressalta-se, entretanto, que embora a cobrança pelo uso da água seja um instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos e na Política Estadual de Recursos Hídricos, ela ainda não é realizada em grande parte do estado de Pernambuco, nem no sistema Itaparica, sobretudo porque os irrigantes ainda não assumiram as responsabilidades na gestão dos perímetros públicos de irrigação em que grande parte dos projetos de piscicultura está instalada (MELO, 2015).

a concessão dessas licenças tornou-se mais rápida e menos burocrática, mas ainda é passível de melhorias. Outra dificuldade é a quantidade de órgãos e instituições envolvida na regularização da atividade em águas da União, entre eles o MPA, o MMA, o Ministério da Marinha (MM), a ANA, a SPU, o Ibama e demais órgãos ambientais estaduais.

Em Pernambuco, Melo (2015) identificou as seguintes dificuldades para a realização da piscicultura:

- degradação da qualidade da água pelo lançamento de ração para os peixes, o que, juntamente com seus dejetos, contribui para o aumento da presença de nutrientes e conseqüente risco de eutrofização do reservatório, no caso de tanques rede, ou do corpo hídrico receptor do efluente, no caso dos tanques escavados. Essa ação pode acarretar relação conflituosa com a pesca artesanal por conta da poluição causada;
- assistência técnica ineficiente para pequenos piscicultores;
- burocracia na regularização dos tanques rede em função da demora de resposta da solicitação realizada à Secretaria Especial de Aquicultura e Pes-

ca, que compreende o licenciamento ambiental, a outorga para uso de água e o parecer conclusivo para a segurança do tráfego aquaviário;

- introdução de espécies de peixes exóticas pela piscicultura, como é o caso da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Por outro lado, Silva *et al.* (2013) ressalta que, com uma política de pesquisa e desenvolvimento para espécies promissoras e a modernização e profissionalização do setor, a aquicultura brasileira pode ser bastante desenvolvida.

Estratégias para aprimorar o processo de regularização ambiental da atividade aquícola

Desde 2008, o atual MPA está cedendo águas da União para o cultivo de organismos aquáticos. Até 2011, foram entregues quase três mil áreas aquícolas, todavia há demanda para mais de cem mil. Os parques aquícolas só podem ser demarcados após a realização de estudos detalhados. Apesar das melhorias recentes nos processos de cessão, ainda se tem o envolvimento de diversos órgãos públicos – Marinha, Ibama, ANA, MMA e SPU (SIDÔNIO *et al.*, 2012a).

De acordo com Bernardino (2014), as tendências da cadeia produtiva da piscicultura são:

- maior concentração, visando aumentar a eficiência econômica e o aproveitamento das economias de escala;
- parcerias e alianças estratégicas desenvolvendo e ofertando novos e diferenciados produtos;
- realocação das indústrias e pagos prêmios por qualidade e regularidade;
- disputa mais acirrada pelo mercado, com a sobrevivência daquelas indústrias que melhor atenderem às exigências do consumidor;
- ampliação e modernização da logística de distribuição e de transporte.

Nesse sentido, são propostas estratégias para auxiliar nos procedimentos de regularização ambiental da atividade aquícola, entre as quais se destacam:

- informatização do licenciamento para tanques rede e realização de vistorias por órgãos ambientais locais a fim de agilizar o processo de regularização;
- implantação do sistema de cobrança pelo uso da água pelos órgãos executores de recursos hídricos, visto que a atividade lança efluentes no corpo hídrico alterando a sua qualidade;
- para atividade aquícola de pequenos empreendimentos, sobretudo familiares, recomenda-se a assistência técnica de órgãos públicos especializados, o Instituto Agrônomo de Pernambuco, no caso em estudo;
- fornecimento de formação continuada para piscicultores, por meio de cursos de beneficiamento de pescados e técnicas de higiene para manipulação de alimentos, entre outros, que possam impulsionar a comercialização, ampliando o acesso a mercados;
- periodicidade de avaliação da qualidade da água destinada à piscicultura, principalmente em reservatórios de usos múltiplos, e divulgação desses dados para os outros órgãos, para que não sejam realizadas análises do mesmo local ou de locais muito próximos, a fim de que se possam estabelecer uma rede de monitoramento e um banco de dados público atualizado.

CONCLUSÃO

Foram levantadas 74 licenças ambientais emitidas no período compreendido entre 2009 e 2014 para empreendimentos aquícolas no estado de Pernambuco. Entre elas, 12 estão relacionadas com LI, 13 com LO, 23 com LP, seis com RLI e 20 com RLO. Em Pernambuco foram emitidos 25 Registros Gerais de Atividade Pesqueira para o estado no período entre 2008 e 2015. Foram identificadas quatro outorgas referentes ao lugar.

Pernambuco produz atualmente mais de 27 mil toneladas de organismos aquáticos. No litoral predomina a produção de peixes marinhos, enquanto na região do Vale do São Francisco prevalece a criação de peixes de água doce, com destaque para empreendimentos instalados em águas de domínio da União. A maior parte dos empreendimentos é formada por pequenas associações e cooperativas. Apesar das potencialidades para o desenvolvimento da aquicultura em Pernambuco e das mudanças no processo de licenciamento, ainda ocorrem vários gargalos que

impedem que a produtividade esperada para o setor atinja os patamares idealizados pelo MPA, que é dobrar a produção no estado.

Nessa perspectiva, destaca-se a necessidade de informatização dos procedimentos de licenciamento ambiental de tanques rede e da realização das fiscalizações por órgãos ambientais locais, a fim de dar mais agilidade ao processo de regularização ambiental da atividade. Além disso, o instrumento de cobrança pelo uso da água precisa ser implantado de maneira eficiente conjuntamente ao processo de outorga de uso da água para aquicultura.

A regularização ambiental dos aquicultores permite o acesso às políticas públicas de fomento. Nesse sentido, é preciso fortalecer a aquicultura por intermédio da extensão rural e da capacitação dos produtores, para atender às exigências sanitárias da legislação e agilizar e ampliar o acesso ao licenciamento ambiental para que a aquicultura se torne sustentável e atinja a produtividade esperada para o setor.

REFERÊNCIAS

- ACEB – ASSOCIAÇÃO CULTURAL E EDUCACIONAL BRASIL. *1º Anuário Brasileiro da Pesca e Aquicultura 2014*. Brasil: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2014. 136 p.
- AGU – ADVOCACIA GERAL DA UNIÃO. Consultoria Geral da União. Consultoria Jurídica Junto ao Ministério da Pesca e Aquicultura. *Nota n.º 009/2013/CONJUR-MPA/CGU/AGU*. Processo n.º 02000.003239.2003-18. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/6333F3D1/Parecer_MPA.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2016.
- AGU – ADVOCACIA GERAL DA UNIÃO. Consultoria Geral da União. Consultoria Jurídica Junto ao Ministério do Meio Ambiente. Coordenação Geral de Assuntos Jurídicos. *Parecer n.º 274/2012/CGAJ/CONJUR/MMA/mmc*. Processo n.º 02000.003239/2003-18. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/6333F3D1/Parecer_MMA.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2016.
- ALMEIDA, C. A disputa pelas áreas de pesca. *Revista Coletiva*, Recife, n.15, jan.-abr.2010. Disponível em: <http://www.coletiva.org/site/index.php?option=com_k2&view=item&id=5:a-disputa-pelas-%C3%A1reas-de-pesca&tmpl=component&print=1>. Acesso em: 4 ago. 2015.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas*. Brasília: ANA, 2013. 252 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Outorga de direito de uso dos recursos hídricos*. Brasília: SAG, 2011.
- AURELIANO, J.; LACERDA, A.; FALCÃO, D.; MARINHO, L. H.; BRITO, J. Levantamento dos sistemas de tanque-rede nos reservatórios da Chesf, em Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., São Paulo, 25 a 29 nov. 2007. *Anais...* São Paulo: ABRH, 2007.

BANCO DO BRASIL. *Aquicultura e pesca: desenvolvimento regional sustentável*. Brasília: Banco do Brasil, 2010. v. 6. 56 p. (Série Cadernos de Propostas para Atuação em Cadeias Produtivas.)

BERNARDINO, G. Avanços tecnológicos e expansão da produção de tambaqui e seus híbridos na Amazônia. In: FEIRA NACIONAL DO CAMARÃO, 14., Fortaleza, 12 a 13 nov. 2014. *Anais...* Fortaleza: Associação Brasileira dos Criadores de Camarão, 2014. p. 1-57.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.º 237, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 22 dez. 1997. *Diário Oficial da União*, Brasília, p. 30.841-30.843, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.º 459/2013, de 16 de outubro de 2013. Altera a Resolução n.º 413, de 26 de junho de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. Brasília, 4 out. 2013. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 194, p. 76, 7 out. 2013.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Aquicultor: o que é*. 2011a. Disponível em: <<http://sinpesq.mpa.gov.br/rgp/>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura*. Brasil 2008–2009. Brasília: MPA, 2011b. 101 p.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Boletim Estatístico da Pesca e da Aquicultura Brasil 2010*. Brasília: MPA, fev. 2012a. 129 p.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Dinâmica econômica da aquicultura e pesca: território sul catarinense*. Florianópolis, 2011c. 103 p.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Estratégia nacional para a regularização de empreendimentos aquícolas*. 2014. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/aquicultura/egistro/2-uncategorised/156-estrategia-nacional-para-a-regularizacao-de-empreendimentos-aquicolas>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. *Registro e licença de aquicultor*. 2015a. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/monitoramento-e-controle/registro-geral-da-atividade-pesqueira-rgp/registro-e-licenca-de-aquicultor>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Sistema Nacional de Informações da Pesca e Aquicultura (SINPESQ). *Entenda o licenciamento ambiental da aquicultura*. 4 maio 2012b. Disponível em: <http://sinpesq.mpa.gov.br/rgp/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=105>. Acesso em: 4 ago. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Guia de procedimentos do licenciamento ambiental federal: documento de referência*. Brasília: MMA, 2002. 128 p.

CORRÊA, J. M. Análise crítica do licenciamento ambiental da piscicultura no estado do Amapá. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca)–Universidade do Estado do Amapá, Macapá, 2011. 54 p. Disponível em: <http://www2.unifap.br/cambientais/files/2012/01/TCC_Engenharia-de-Pesca_Jacklinne-Matta.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2015.

DELL'ORTTO, M. S. M. *Licença ambiental de projetos de piscicultura em águas de domínio da União no estado da Bahia*. Salvador: Sebrae, 2009. 44 p. (Série Agronegócio.)

DIAS, E. F. *Governança e licenciamento ambiental para piscicultura: um estudo de multicasos no estado de Mato Grosso do Sul*. Dissertação (Mestrado)–Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015. 134 p.

ELER, M. N.; ESPÍNDOLA, E. L.; ESPÍNDOLA, E. A.; NOGUEIRA, A. M.; MILANI, T. J. Avaliação sócio-econômica dos empreendimentos de pesque-pague. In: ELER, M. N.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Orgs.). *Avaliação dos impactos de pesque-pague: uma análise da atividade na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu*. São Carlos: Rima, 2006. p. 31-75.

FURLANETO, F. P. B. & AYROZA, D. M. M. R. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanque-rede no médio Paranapanema, estado de São Paulo, safra 2004/051. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 36, n. 3, mar. 2006.

GARUTTI, V. *Piscicultura ecológica*. São Paulo: Editora da Unesp, 2003. 332 p.

GODOY-FILHO, C. A. S. *Território do Agreste Meridional do Sertão do Pajeú e da Mata Sul em Pernambuco: acompanhamento e avaliação dos resultados do Programa Desenvolvimento Rural Sustentável de Territórios Rurais*. Relatório Final do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic). Garanhuns: UAG/UFRPE, 2013. 26 p.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. *Geografia de Pernambuco*. 2016. Disponível em: <<http://www.pe.gov.br/conheca/geografia/>>. Acesso em: 4 ago. 2016.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura 2011*. 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/estatistica/est_2011_bol__bra.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2015.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Estatística da Pesca 2007*. Grandes regiões e Unidades da Federação. Brasília, dez. 2007. 151 p.

KUBITZA, F. O país do potencial travado em nome do meio ambiente. *Panorama da Piscicultura*, 2013. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/novosite/?p=3789>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

KUBITZA, F. Panorama da piscicultura no Brasil parte III. Particularidades regionais da piscicultura custos de produção, preços de venda e os gargalos que limitam a expansão dos cultivos. *Panorama da Aquicultura*, n. 134, nov./dez 2012. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/novosite/?p=1741>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

MELO, J. F. B.; SANTOS, A. S.; DAMASCENO, A. A. Comercialização e perfil do consumidor da carne de peixe na região do semiárido de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE). *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 41, n. 12, 2011.

MELO, M. G. S. *Modelagem multi-segmentar para governança de perímetros públicos de irrigação de base familiar no Semiárido Nordestino*. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

MONITOR DIGITAL. Conjuntura. *Conama aprova resolução que simplifica licenciamento ambiental para aquicultura*. 6 set. 2013. Disponível em: <<http://www.monitormercantil.com.br/index.php?pagina=Noticias&Noticia=140302>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

OSTRENSKI, A. Propostas estruturais e executivas para consolidação da aquicultura brasileira. In: OSTRENSKI, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. *Estudo setorial para consolidação de uma aquicultura sustentável no Brasil*. Curitiba: Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais, 2007. 279 p.

PROENÇA, E. C. M. & BITTENCOURT, P. R. L. *Manual de piscicultura tropical*. Brasília: Ibama, 1994. 195 p.

PRORURAL – PROGRAMA ESTADUAL DE APOIO AO PEQUENO PRODUTOR RURAL. *Diagnósticos dos arranjos produtivos do estado e análises de estudo de caso*. Relatório de Consultoria. Wallace Gomes de Medeiros. Recife: ProRural, 2007. 64 p.

ROCHA, B. C. G. da & VITAL, T. A piscicultura em tanque-rede no município de Petrolândia – PE: um arranjo produtivo local em construção. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 5, n. 3, p. 475-492, set./dez. 2012.

ROCHA, C. M. C.; RESENDE, E. K.; ROUTLEDGE, A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 48, n. 8, ago. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800iii>.

RONDÔNIA AO VIVO.COM. Ministério de Pesca e Aquicultura realiza o 1.º Seminário de Piscicultura. *Rondonia Ao Vivo*, 23 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.rondoniaovivo.com/noticia/ministerio-de-pesca-e-aquicultura-realiza-o-1-seminario-de-piscicultura/148360>>. Acesso em: 4 ago. 2016.

SAMPAIO, M. B. Processos de licenciamento de projetos de aquicultura. Apresentação. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ÓRGÃOS MUNICIPAIS DE MEIO AMBIENTE, 20., Brasília, 2010. *Anais...* Brasília: MPA, 2010. 21 p.

SCORVO-FILHO, J. D. & FRASCÁ-SCORVO, C. M. D. A aquicultura brasileira, gigante adormecida ou acorrentada? *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 2, jul.-dez., 2011.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS & MPA – MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. *Licenciamento ambiental da aquicultura*. Critérios e procedimentos. Brasília: Sebrae/MPA, 2011. 44 p.

SEMAS – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. *Instrução Normativa n.º 005/2013*. Estabelece os procedimentos para celebração de Convênio de Delegação de Competência para o Licenciamento Ambiental entre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e municípios do estado do Pará e dá outras providências. 5 jun. 2013. Disponível em: <<http://www.semas.pa.gov.br/2013/06/05/instrucao-normativa-no-005-de-05-de-junho-de-2013/>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

SIDÔNIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES-JÚNIOR, A. J.; MUNGLIOLI, R. Experiências internacionais aquícolas e oportunidades de desenvolvimento da aquicultura no Brasil: proposta de inserção do BNDES. *BNDES Setorial*, n. 36, p. 179-218, 2012a.

SIDÔNIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES-JÚNIOR, A. J.; MUNGLIOLI, R. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. *BNDES Setorial*, n. 35, p. 421-463, 2012b.

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. *Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 39 p.

SOARES, M. C. F.; LOPES, J. P.; BELLINI, R.; MENEZES, D. Q. A piscicultura no Rio São Francisco: é possível conciliar o uso múltiplo dos reservatórios? *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, São Luís, v. 2, n. 2, p. 69-83, maio 2007.

SONODA, D. Y.; SHIROTA, R.; SCORVO FILHO, J. D.; CYRINO, J. E. P. Desequilíbrio entre a oferta e a demanda brasileira por pescados em 2002/2003 e 2008/2009. *Revista iPecege*, v. 1, n. 1, p. 9-21, 2015.

TEIXEIRA, D. M. Os procedimentos de licenciamento ambiental. *Boletim Científico*, Brasília, ano 9, n. 32-33, p. 37-69, jan.-dez. 2010.

TIAGO, G. G.; GIANESELLA, S. M. F. O uso da água pela aquicultura: reflexões temáticas (online). In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., Indaiatuba, 2003. *Anais...*, Indaiatuba, 2003.

THIAGO, G. G. *Aquicultura, meio ambiente e legislação*. São Paulo: Annablume, 2002. 161 p.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. *Cartilha de Licenciamento Ambiental*. 2. ed. Brasília: TCU, 4.ª Secretaria de Controle Externo, 2007. 83 p.

USING GEOSTATISTICS TO EVALUATE THE SPATIAL VARIABILITY OF THE ENVIRONMENTAL DEGRADATION LEVEL IN ITACURUBA (PERNAMBUCO, BRAZIL)

O USO DA GEOESTATÍSTICA PARA AVALIAÇÃO DA
VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM ITACURUBA (PE)

Sebastião Cavalcante de Sousa

Professor at Federal University
of Cariri – Crato (CE), Brazil.

Vlândia Pinto Vidal de Oliveira

Professor at Federal University
of Ceará – Fortaleza (CE), Brazil.

Karin Stock de Oliveira Souza

Hohenheim University – Stuttgart,
Alemanha.

Josefa Maria Francieli da Silva

Agronomist – Crato (CE), Brazil.

Francisco Ramon da Cunha Alcântara

Agronomist – Crato (CE), Brazil.

Endereço para correspondência:

Sebastião Cavalcante de Souza –
Rua José Sátiro Vilar, 138, apto. 08 –
Alto da Penha –
63104-060 – Crato (CE), Brasil –
E-mail: scsousaufc@hotmail.com

RESUMO

The detection and monitoring of environmental degradation requires both low-cost and easy-to-perform techniques. This study intended to conduct sampling and use geostatistics to predict the spatial variability of environmental degradation indicators. The field of study was the micro-drainage basin of the Itacuruba creek in Itacuruba (PE). The georeferenced samples were subjected to sulfuric acid to determine organic carbon, iron oxide, aluminum oxide and molecular relation of k_i and altitude. The data were statistically analyzed where only the altitude presented normal distribution and the organic carbon did not present spatial dependence, which indicated it was a degraded area. The iron oxide content in the soil surface is a good indicator of an environmental degradation index, and future sampling may be spaced in 600 m in the Itacuruba region (PE). Geostatistics is presented as an efficient, low cost predictor for studying environmental degradation and monitoring.

Keywords: sulfuric attack, spatial dependence, pedotransfer.

ABSTRACT

A detecção e o monitoramento da degradação ambiental exigem técnicas de baixo custo e de fácil execução. O presente estudo objetivou realizar amostragem e utilizar a geoestatística para prever a variabilidade espacial de dados indicadores de degradação ambiental. A área de estudo foi a microbacia hidrográfica do riacho Itacuruba, em Itacuruba (PE). As amostras georreferenciadas foram submetidas ao ataque sulfúrico determinando: carbono orgânico, óxido de ferro, óxido de alumínio, relação molecular k_i e altitude. Os dados foram analisados estatisticamente onde somente a altitude apresentou distribuição normal e o carbono orgânico não apresentou dependência espacial, significando ser uma área degradada. O teor de óxido de ferro na superfície do solo se apresenta como um bom indicador de índice de degradação ambiental e as amostragens futuras podem ser distanciadas de 600 m na região de Itacuruba (PE). A geoestatística apresenta-se como boa preditora, de baixo custo, para estudos de degradação e monitoramento ambiental.

Palavras-chave: ataque sulfúrico, dependência espacial, pedotransferência.

INTRODUCTION

The process of desertification involves several variables with narrow interrelationships and considerable spatial variability. The geostatistical analysis of primary or secondary data, conducted by different authors (GOOVAERTS, 1997; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA et al., 2008), is an appropriate and significant tool for the analysis of properties that vary from one location to another with some degree of organization or continuity, which are expressed through spatial dependence (VIEIRA, 2000).

Using mathematical prediction tools, several studies have been developed to predict soil properties, such as moisture retention (AQUINO et al., 2009); hydraulic conductivity (NEBEL et al., 2008); penetration resistance (ALMEIDA et al., 2008); and genesis (SIRTOLI et al., 2008). Morphological attributes and soil classification have been measured and analyzed by geostatistics to correlate soil management systems and results, as well as to predict physical properties (GRECO et al., 2011).

Geostatistics first appeared in South Africa, through the work of mining engineer Daniel Gerhardus Krige and statistician Herbert Sichel, who performed statistical calculations for estimating natural reserves (KRIGE, 1951). Krige worked with spatial data using samples of concentrated gold, and concluded that the variances that considered the distances between samples proved to be more useful in the future prospection.

Later on, calculations received a formal treatment by Matheron (1971), who defined the geostatistics name as a study technique for variables that have spatial conditioning. The localized variable is a numerical spatial function ranging from one sampling point to another, but with an apparent continuity. The behavior of these variables is represented by two mathematical tools, the semivariogram and kriging (LANDIM, 2006).

The analysis of soil data, considering spatial independence, is conducted using statistical methods such as variance analysis and the variation coefficient. However, for the analysis of data that present dependency on the distance in one dimension, the autocorrelation is used. When the data present spatial dependence in two dimensions, and require interpolation between two samples, the most suitable tool is the semivariogram (VIEIRA, 2000).

The semivariogram is a graphic expression, which can be estimated by Equation 1, varying in magnitude and direction, with respect to vector h . When the semivariogram graph is identical to any direction h , it is isotropic; and when it presents different behavior in different directions, it is anisotropic. Equation 1 is based on the assumption of stationarity of order 2, that is, it implies the existence of a finite variance of the measured values (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(x_1) - z(x_1 + h)]^2 \quad (1)$$

Where:

$\hat{\gamma}(h)$ is semivariogram with respect to vector h ;

$[z(x_i) - z(x_i + h)]^2$ is an increment of attribute z with a distance h ; and

$N(h)$ is the amount of pairs of measured values $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separated by a vector h .

The equation shows three characteristics with variation of h : $h=0$, when the semivariogram has a positive value, which is called nugget effect – C_0 (nugget effect); when it reaches a certain distance, semivariance will not increase and will stabilize at a value equal to the average variance, this region is called silo or landing – C_0+C_1 (sill); and the distance corresponding to the beginning of silo is called range, signifying the end of spatial dependence among samples (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

The evaluation of the spatial dependence level of soil properties can be performed using the classification provided by Cambardella et al. (1994), which is based on the ratio $C_0/(C_0+C_1)$ as follows: strong – the semivariograms that have a nugget effect = 25% of the level; moderate – nugget effect between 25 and 75%; and weak – nugget effect > 75%.

Modeling is the key part in determining the semivariogram; it consists of an adjustment of an experimental variogram through a trial process. The semivariogram should be adjusted to a theoretical model that will set the following parameters: nugget effect, range and level. Among the most used models are the spherical, exponential and Gaussian models. Adjustments should be compared under two conditions: when the model has a defined positivity and the analysis (r^2) (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

Kriging, the name given by Matheron in honor of Daniel Krige, is an interpolation methodology that estimates values. It uses the spatial dependence of neighboring samples. Through the distances between measured points, it is possible to make estimates for unmeasured locations, thus making the construction of maps possible (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

Kriging uses information from the semivariogram to find optimal weights to be associated with samples that will estimate a point, an area, or a block. As the semivariogram is a function of the distance between sampling locations while maintaining the same number of samples, the weights are different according to their geographical arrangement. The closer they are, the greater the weight in the estimation process (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

The estimator is a weighted moving average that can be expressed by Equation 2 (LANDIM, 2006; VIEIRA, 2000).

$$\hat{z}(x_0) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_k z(x_k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

Where:

N is the number of measured values,
z (xi), which is involved in the estimation, and
 λ_i are the weights associated with each measured value, z (x).

Fiorio (2002) conducted studies comparing soil data obtained in the laboratory (oxides and molecular relationships between K_i and K_r) and orbital data using multiple linear regressions through the Statistical Analysis System (SAS). The soil data were obtained with sulfuric attack. The equations found provided maps that were highly correlated in comparison with conventional maps.

The sulfuric attack is the method for determining levels of silicon, iron, aluminum and titanium, and the contents of these elements in the soil. Their molecular relations (k_i and k_r) indicate the pedologic degree of soil development (FERREIRA, 2008). The amount and distribution of these elements within the soil profile are useful for predicting potential for plant development (CAMARGO et al., 2009).

Studies conducted by Souza et al. (2010), using the sulfuric attack on a toposequence in Pernambuco, showed that the iron oxide content increases with depth in

profile, with the iron and magnesium minerals content located in the source rock and rainfall. The silicon and aluminum oxide content also increase with moisture, while k_i is inversely proportional, meaning it is higher in dry regions and lower in humid regions.

Soil carbon, in the inorganic form (carbonates, bicarbonates and carbon dioxide) and in the organic form (polysaccharides, fatty acids, amino acids, polyphenols, among others), is found in the biomass of microorganisms, plant and animal remains during the decaying process. In Brazil, the total carbon varies from 0.2 to 5.0 dag.kg⁻¹, except for peat soil that can reach up to 50 dag.kg⁻¹. The most used technique to determine this fact is the Walkley-Black, which uses dichromate in an acid medium as the oxidizing agent (MENDONÇA & MATOS, 2005).

Diniz Filho et al. (2009) performed the classification of physical, morphological, and chemical soil groups, located in semi-arid Midwest region of the state of Rio Grande do Norte, whose rocky foundation, granite and gneiss provided the formation of shallow soils. In this study, the soils presented organic carbon (C) and organic matter (OM) expressed in percentage ranging from 0.04% to 2.71%, and 0.07% to 4.67%, respectively.

Arruda (2008) characterized the agricultural environments and the main soils in the city of Guarabira (PB), which is geologically composed of granite and gneiss. The Litholic Neosols presented the organic carbon content ranging from 2.04 to 7.43 g.kg⁻¹.

Martins et al. (2010) studied areas in Floresta (PE) and found 13 g.kg⁻¹ in preserved areas, 10.9 g.kg⁻¹ in moderately degraded areas and 5.0 g.kg⁻¹ in degraded areas, which directly influence the microbial population of the soil. Other attributes that also varied were nutrients, acidity, and base saturation.

Cavalcante et al. (2007) studied the spatial variability of organic matter and other soil attributes under different uses and management in Selvíria (MS) using a regular grid (14 x 14 points) totaling 64 points sampled at regular intervals of 2 m. Data were analyzed in GS+ (ROBERTSON, 1998), concluding that the OM has greater spatial dependence structure in the area with a naturally preserved system.

The region where the micro-drainage basin of the Itacuruba creek is located in the São Francisco River Valley

in Pernambuco presented pebbles on the terraces and interfluvies of river headwaters. This seems to prove the existence of a past period of wet weather in the region followed by intense drought, thus justifying the intense pediplanation and presence of inselbergs ranging from 100 to 300 meters (ARAÚJO FILHO et al., 2000; JACOMINE et al., 1973).

Studies in this area have detected a high level of environmental degradation. The main causes of degradation were deforestation and inadequate ag-

ricultural uses that led to the unprotected soil and consequent erosion, resulting in ecological imbalance (SÁ et al., 2006).

Based on the hypothesis that the use of mathematical tools are useful for the prediction and monitoring of environmental degradation in large areas, this study intended to conduct the survey of primary data in the field, spatially referenced, in the municipality of Itacuruba (PE), and to use geostatistics to predict the spatial variability of environmental degradation indicators.

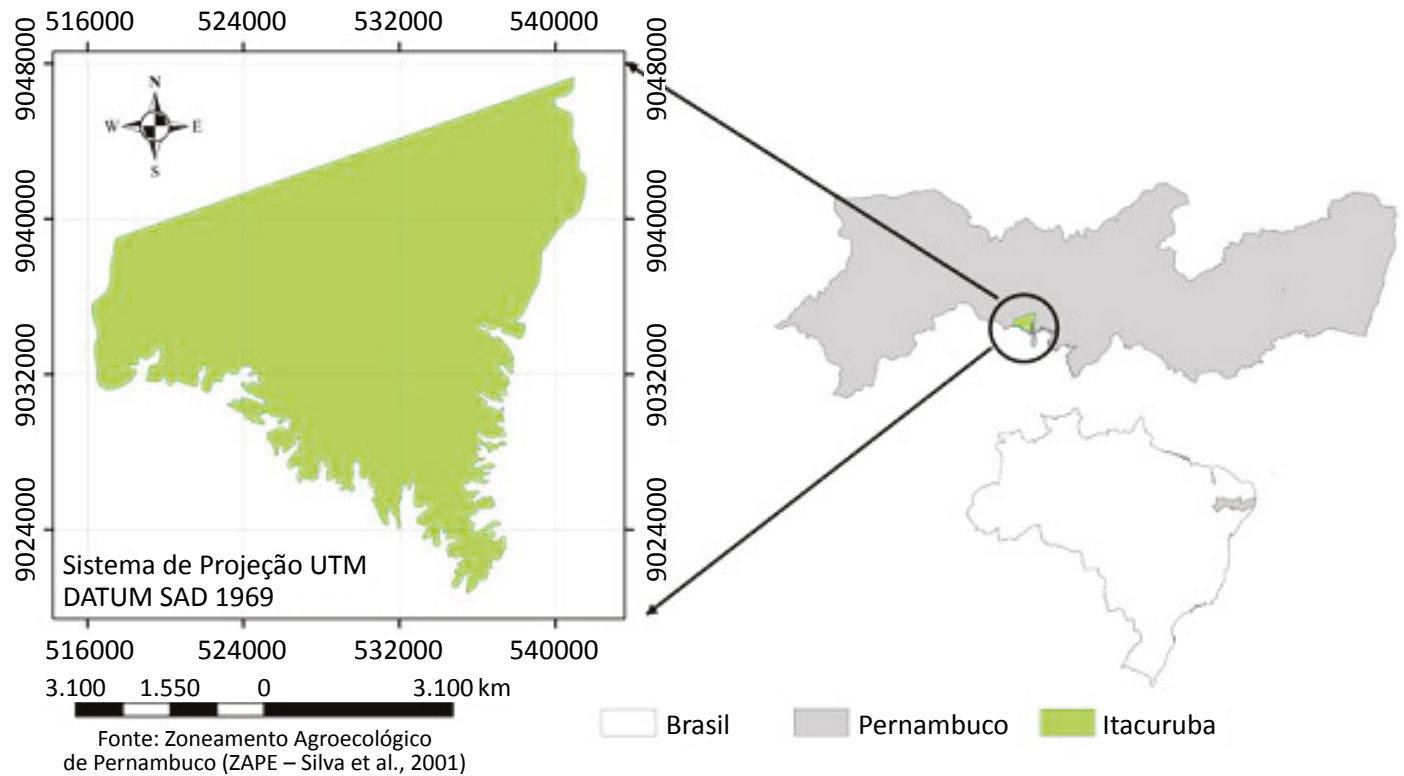
MATERIAL AND METHODS

Characterization of the field of study

The micro-drainage basin of the Itacuruba creek is located between the geographic coordinates 08°43'47,5" and 08°48'07,8" South latitude and 38°40'54,3" and 38°43'38,1" West longitude, inserted in an area of 1,750.66 hectares. The Itacuruba creek is a tributary of the São Francisco River, flow-

ing into the Lake of Itaparica in the city of Itacuruba (PE) (Figure 1).

The area studied has predominantly Precambrian rocks, with schist and gneiss showing greater expression. It is located in the geoenvironmental



Source: ZAPE (Silva et al., 2001).

Figure 1 – Location of the municipality Itacuruba (PE).

unit named *Depressão Sertaneja*, which is the typical landscape of the northeastern semiarid region, characterized by a rather monotonous pediplanation surface, ranging from soft-curved to mountainous relief (ARAÚJO FILHO et al., 2000; JACOMINE et al., 1973; CPRM, 2005).

The soils mainly developed from acidic metamorphic rocks (gneiss), at its greatest extent, and also, in smaller expression, from sedimentary formations. The soils found by Silva et al., (2001), Pinheiro & Sousa (2014), Araújo Filho et al. (2000) and Jacomine et al. (1973) belonged to the following classes, according to the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS) (EMBRAPA, 2013): Luvisols (TC), Litholic Neosols (RL), Regolitic Neosols (RR), Fluvisols (RY), Cambisols (CX) and Planosols (SX) (Figure 2).

The Planosols, poorly drained, present average natural fertility and salt problems, plain topography, occur near the Itacuruba creek. The Fluvisols, sandy, low relief, occur bordering the streams. Cambisols, of medium texture, medium fertility, and low relief occur in the lower thirds of waste crests. Regolitic Neosols, sandy and low relief, occur in the lower thirds of waste crests. Luvisols, clay based, high fertility, relief ranging from mild wavy to corrugated, are distributed across the surface. Litholic Neosols, shallow, stony and rocky with a wavy relief ranging from wavy to mountainous, are located in residual ridges and higher elevation tops (ARAÚJO FILHO et al., 2000; JACOMINE et al., 1973).

In Itacuruba (PE), the average annual rainfall is 391.0 mm, with a minimum of 88.0 mm and a maximum of 748.0 mm, in the month of March it has a higher concentration of rainfall (ITEP, 2014). The annual evapotranspiration is 1,500 mm (POSSAS, 2011). The average annual temperature ranges from 22 °C to 24 °C. The area is within the Koppen classification BSwH, with very hot semiarid climate. According to

Cartographic and computer science material

In order to execute the studies, microcomputers and necessary peripherals (printers, scanners) and software SURFER 8.0^o (SURFER, 2002) and ArcView GIS 3.2^o (ESRI, 1999) were used. The geographic localization of the sampled points was found with a navigational GPS (global positioning system) receiver

at the datum SAD 69 with the approximation error of 3 meters.

The species found belong to the vegetable formation *hyperxerophilic caatinga*, showing a significant degree of xerophytes where the main families are: *Cactaceae*, *Euphorbiaceae*, *Malvaceae*, *Leguminosae* and *Bromeliaceae*. They are woody formations, *xerophile* and thorny, which are characterized by falling leaves of virtually all the species during the dry season. Within this area, the vegetation shows variations concerning the size (tree, a mix of shrub and tree, and shrub) and density (dense, sparse and open) (JACOMINE et al., 1973).

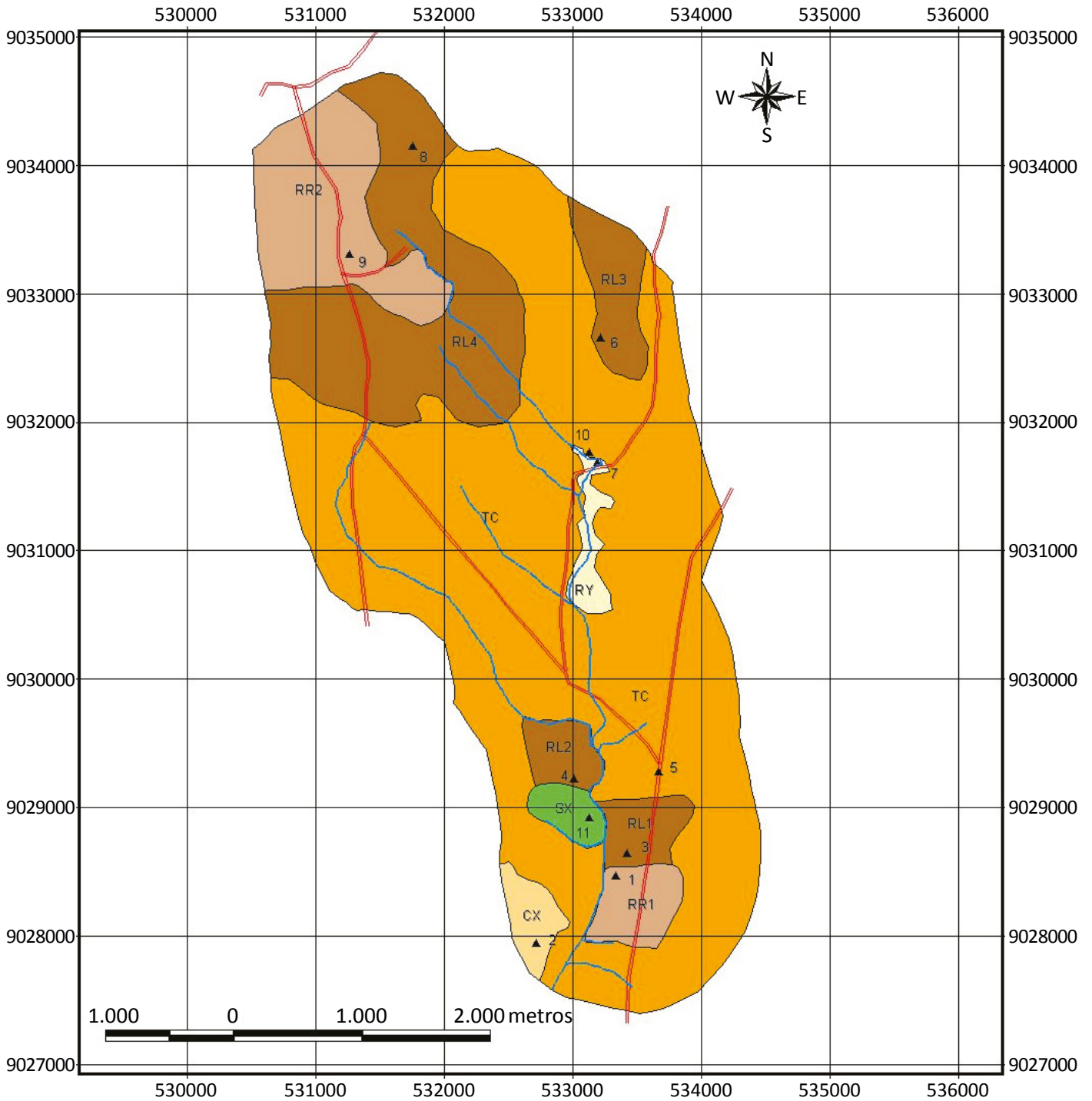
The most frequent species are: *Aspidosperma pyrifolium* Mart (*pereiro*), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (*catingueira*), *Cnidoscolus phyllacanthus* (Muell. Arg.) Paxand K. Hoffm. (*favela*), *Pilocereus gounellei* Weber (*xiquexique*), *Opuntias* pp. (*quipá*), *Bromelia laciniosa* Mart (*macambira*), *Spondias tuberosa* Arruda (*umbuzeiro*), *Cereus jamacuru* DC. (*mandacaru*), *Bumelia sartorum* (*quixabeira*), *Maytenus rigida* Mart (*bom nome*), *Leptophloeos bursera* Mart (*umburana-de-cambão*), *Jathropa pohiliana* (*pinhão bravo*).

The Itacuruba creek is located in the fields of drainage basin of the São Francisco River, with the Tamanduá creek as its main tributary. It features standard dentritic drainage and the waterways have an intermittent cycle. The area is part of the hydrogeological fissural domain, crystalline basement, with underground water presenting high electrical conductivity and high content of soluble solids (salts) (CPRM, 2005).

Human settlement in the current day Itacuruba (PE) occurred in the early 1990s with the flooding of Itaparica Lake, resulting from the construction of the Luiz Gonzaga Hydroelectric Plant. Currently, extensive cattle raising is the main activity maintained by locals.

er at the datum SAD 69 with the approximation error of 3 meters.

The areas were delimited at the ArcView Version GIS 3.2 (ESRI, 1999) through the usage of satellites images TM LANDSAT 5 orbit-point 216_66, Itacuruba (PE), on September, 26 2000 (INPE, 2010).



Source: Pinheiro & Sousa (2014).

Figure 2 – Map of soil distribution in the micro-drainage basing of Itacuruba creek.

Field material

The pedologic procedures were performed with the help of the following materials: shovel, hoe,

plastic bags, strings, tags, field forms, and navigational GPS.

Field methods

The sampled points were chosen randomly in open areas with no tree or bush cover, where the material was removed from the superficial width of 1 cm. At each point approximately 1 kg of soil was collected and their coordinates (GPS) and latitude were noted.

Laboratory methods

The analysis in this study followed Mendonça & Matos' (2005) methodology for organic carbon and

Organic carbon

The soil samples were triturated in mortar, sifted with a 80 mm mesh sieve, weighed and put into test tubes for the digester block. Next, the solution of potassium dichromate 0.4N and sulfuric acid H_2SO_4 was added and then taken to the digestion at 170 °C for 30 minutes.

Sulfuric attack

The analysis followed the routine according to Camargo et al. (2009). The soil samples were triturated in mortar, sifted with a sieve of 0.5 mm mesh, and weighed and put in digester tubes. Next, sulfuric acid solution 18N was added, a funnel was put on top of the tubes to avoid rapid evaporation, and they were taken to the block digester. After boiling them for one hour, cooling them down, washing the tubes, they percolated and were taken to a volumetric flask after four washes of the filtrate.

Silicon

Prepare the calibration curve and the sample containing: 1 ml of the extract B, 2 ml of sulfomolybdic solution, and 50 ml of deionized water. After 10 minutes, add 2 ml of tartaric acid solution at 20% and agitate.

Aluminium

Prepare the calibration curve and transfer the sample containing 5 ml of extract A to a 100 ml volumetric flask, fill it, and shake it. Transfer an aliquot of 1 ml to a volumetric flask of 50 ml containing 25 ml of deionized water and

Fifty-three points and 11 superficial horizons of excavated profiles in a pedologic study at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek (PINHEIRO & SOUSA, 2014) were sampled, reaching a total of 64 samples.

the Camargo et al. (2009) methodology for the sulfuric attack.

After the digestion, it rested until it reached room temperature and it was washed with distilled water. The solution was poured in a 250 ml Erlenmeyer, three drops of the diphenylamine indicator was added, and then a titration was conducted with a solution of ammonium iron sulfate 0.1N.

The filtrate in the homogenized flask with deionized water is extract A. The total residue retained from the paper filter is transferred to tall stainless steel cups, with approximately 100 ml of deionized water. Next, 2 ml of NaOH solution at 30% is added and the solution is boiled for two minutes. After cooling, this solution will be transferred to a volumetric flask and its volume will be filled with deionized water and HCl 6N solution, resulting in extract B.

After five minutes, add a little portion of ascorbic acid, fill the flask with deionized water, and shake it. After one hour, do a reading with a spectrophotometer at 655.5 nm.

add 2 ml thioglycolic acid at 1%. Add exactly 10 ml of buffer solution pH 4.2 containing 0.04 % of Aluminon. Fill the flask with deionized water and shake it. After two hours, take a reading with a spectrophotometer at 534 nm.

Iron

Prepare the calibration curve and sample containing: 1 ml of extract A, deionized water, a pinch of ascorbic acid, 5 ml of 1,10-o-phenantroline at 0.25% and 2 ml of trisodium citrate at 25%. Fill the container and shake it.

Statistics analysis

The data from the analyzed soils were: organic carbon, iron oxide, aluminium oxide, and the molecular relationship between *ki* and altitude. These variables were analyzed through descriptive statistical analysis and geostatistics techniques. The geostatistics analysis demands that the data follows the normality hypothesis (intrinsic); Vieira (2000) and Landim (2006) state this hypothesis was tested on GS+ 7.0 software^o (ROBERTSON, 1998).

The regression analysis was made with Excel^o in accordance to Fiorio (2002). For the descriptive statistics the Kolmogorov-Smirnov test was used in order to verify the normality with SURFER 8.0^o (SURFER, 2002) software. The geostatistics analysis was conducted on GS+ 7.0^o (ROBERTSON, 1998) software in accordance to Cavalcante *et al.* (2007).

After resting for 15 minutes, read it with a spectrophotometer at 518 nm.

Molecular relation $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (*Ki*) is calculated by the formula: $Ki = (\% \text{SiO}_2 \times 1,70) / (\% \text{Al}_2\text{O}_3)$.

The semivariograms were adjusted by trial process and considered the linear, spherical, exponential and Gaussian models. In the process of choosing the best adjustment, the positivity of the model was considered, in addition to the relationship $C_0/(C_0+C_1)$ of spatial dependency, the gained correlation coefficient (r^2) according to the methodology used by Vieira (2000) and Landim (2006), and the regression coefficient obtained with kriging's cross-validation, used by Cavalcante *et al.* (2007).

The spatial dependency grade of the soil's attributes was determined through the usage of the Cambardella *et al.* (1994) classification, which is based on the relationship $C0/(C0+C1)$ as follows: strong – the semivariograms that has the nugget effect = 25% of the level; moderate – nugget effect in between 25 and 75%; and weak – nugget effect > 75%.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The digital elevation model (DEM) of the micro-drainage basin of the Itacuruba creek can be seen in Figure 3 and the geographical positions of the sampled points are

Descriptive statistics

The descriptive statistics is summarized in Table 1. The critical value found for the statistics of the Komolgorov-Smirnov test with 64 samples and level of significance α at 0.05 was 0.17.

From the studied variables, only altitude is observed to show normality by the Kolmogorov-Smirnov test, a mean close to the median. Since the altitude is the result of a long geologic period, human activities do not put morphogenesis' pressure on this variable. All other variables taken from the soil surface do not show normality due to the existing high level of environmental degradation, a result that is similar to the one found by Cavalcante *et al.* (2007), who found normality in the

distributed according to Figure 4. The highest elevation can be observed to occur in the northwest region of the micro-basin, and it decreases as it goes southwest.

variables of a preserved area and abnormality in degraded areas.

Although the studied variables are located in a semi-arid and arid environment, and that it shows a rocky basement, biotite-gneiss, gneiss and schist (Jacomine *et al.*, 1973; Araújo Filho *et al.*, 2000), the high amount of iron oxide and low *ki* is observed to contradict the results found by Souza *et al.* (2010). Whereas low pluviometric precipitations can be verified today, confirm the findings of Jacomine *et al.* (1973) and Araújo Filho *et al.* (2000) who affirmed that there must have been a more humid past than the current conditions at the studied area.

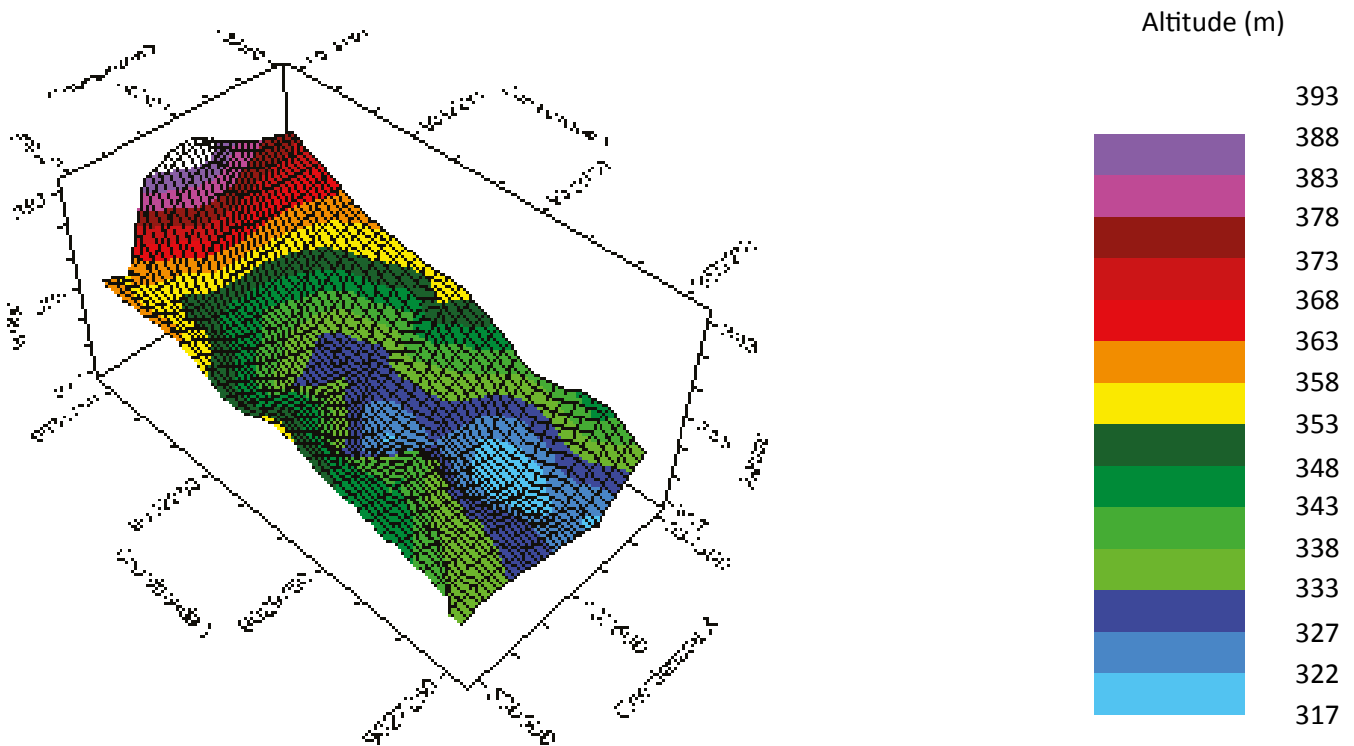


Figure 3 – Digital elevation model of the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

The proportions of organic carbons found are within the levels stated by Arruda (2008), Diniz Filho et al. (2009) and Mendonça & Matos (2005). The proportions of iron and aluminium oxides indicate an elevated pedologic development, with the presence of Cambisol and Luvisol, thus confirming the results found by Camargo et al. (2009) and Ferreira (2008).

The distancing of the observed minimum and maximum values caused the verified high variances. Iron oxide was the variable that showed the biggest observed variance. The iron oxide was the variable that suffered most variation within the space, suggesting it would be a good indicator of the environmental degradation by erosion.

Table 2 presents the results of the regression analysis between the altitudes and the other variables, indicating that the relief shows interference on the iron oxide values. The most representative soils in the micro-basin are the Luvisols, which present increased pedogenesis, high concentrations of iron oxide, and greater

susceptibility of erosion even in the slightly undulated terrains and hills.

The differential erosion of the soil's colloid in the studied area is directly related to the relief, the pluviometric precipitation, land usage, and the modification of the *caatinga's* forest covering caused by human actions, confirming the Sá et al. (2006) studies at the inland of Cabrobó (PE).

The spatial variation of organic carbon occurs because of the intense water deficit and biodiversity loss in both degraded and preserved areas, confirming the results gathered by Martins et al. (2010).

The data's geostatistics of the organic carbon, iron oxide, aluminium, and ki regionalized variables is summarized in Table 3. It can be observed that the organic carbon at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek does not present spatial dependency, thus characterizing it as the pure nugget effect. Additionally, it does not present itself as a good indicator for environmental degradation. The other variables present moderate spatial dependen-

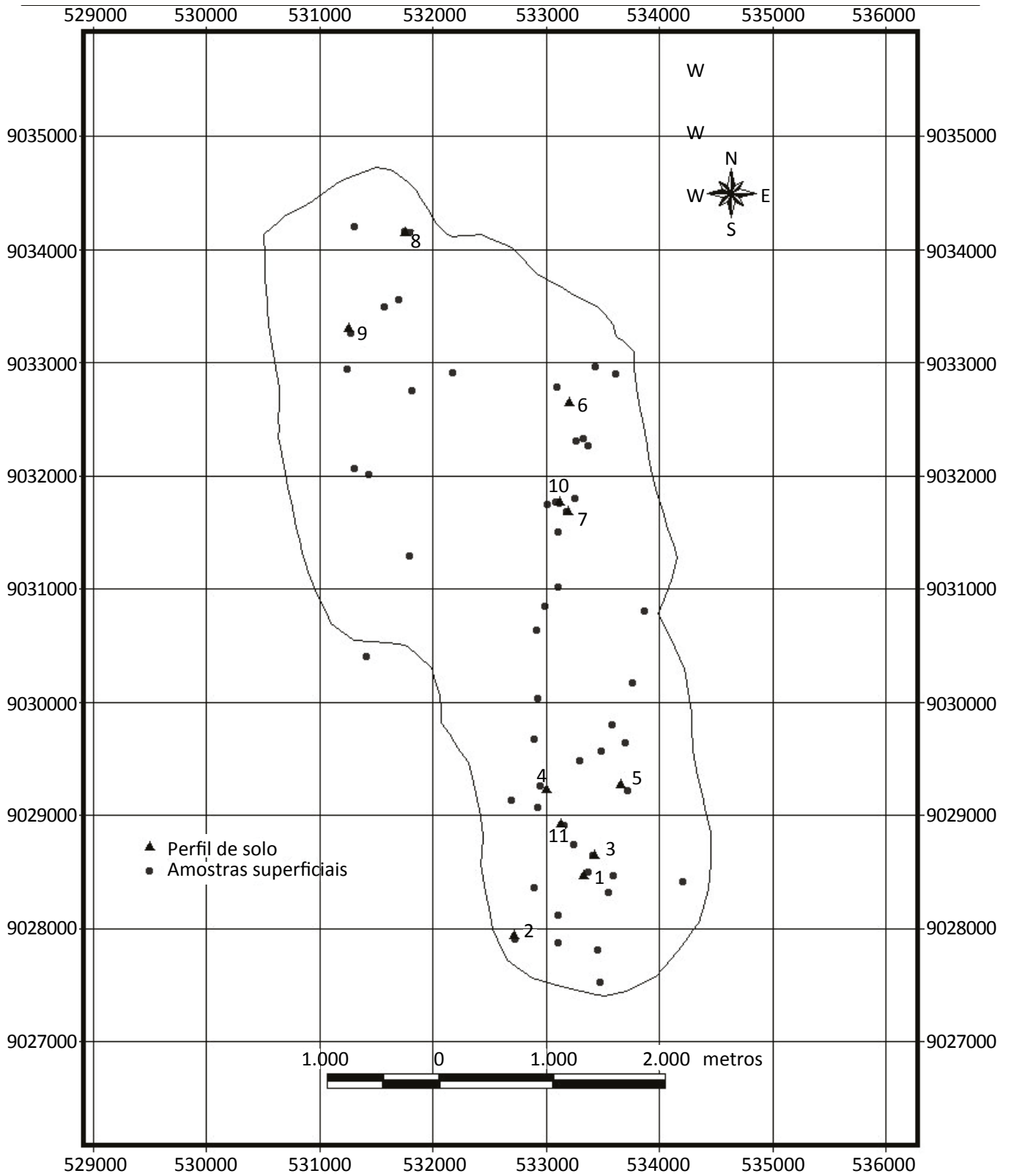


Figure 4 – Map of the distribution of sampled points at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

Table 1 – Descriptive statistics of the variables, organic carbon, iron oxide, aluminium oxide, molecular relationship between (ki) and altitude (m) at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

Statistics	OC (g.kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (g.kg ⁻¹)	Al ₂ O ₃ (g.kg ⁻¹)	ki	Altitude (m)
Mean	10,27	221,77	38,73	0,97	332,53
Median	8,39	152,59	30,51	0,59	329,50
Standard deviation	10,24	169,59	29,24	1,31	13,89
Minimum	0,00	36,74	4,00	0,10	313,00
Maximum	66,06	708,03	133,88	9,35	376,00
Variance	104,77	28.760,00	855,13	1,72	193,17
Variation coefficient	0,99	0,76	0,76	1,35	0,042
Kurtosis	14,47	1,07	0,91	26,83	0,97
Asymmetry	3,27	1,35	1,19	4,60	1,03
d	0,22	0,21	0,20	0,25	0,11 ^{ns}

Note: d = statistics of the Kolmogorov-Smirnov test; ^{ns} There is no significance at 5% probability; OC – organic carbon; Fe₂O₃ – iron oxide; Al₂O₃ – aluminium oxide; ki – molecular relation (SiO₂x1,7/Al₂O₃).

Table 2 – Results of the variance of altitude interference on the other studied variables at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

Variables	VS	DF	SS	MS	F	F of signification
Altitude x organic carbon	Regression	1	704.27	704.27	4.4313	0,0395 ^{ns}
	Residual	60	9536.00	158.93		
	Total	61	10240.27			
	R ² - 0,9312					
Altitude x iron oxide	Regression	1	15.89	15.89	0.0811	0,7768*
	Residual	62	12154.05	196.03		
	Total	63	12169.94			
	R ² - 0,9987					
Altitude x aluminium oxide	Regression	1	865.48	865.48	4.7468	0,0332 ^{ns}
	Residual	62	11304.45	182.33		
	Total	63	12169.94			
	R ² - 0,9889					
Altitude x Ki	Regression	1	2198.82	2198.82	13.6722	0,0004 ^{ns}
	Residual	62	9971.12	160.82		
	Total	63	12169.94			
	R ² - 0,8193					

Note: VS = variation source; DF = degrees of freedom; SS = sum of squares; MS = mean square; F = significance level of the F test; R² = coefficient of determination; *significant difference; ^{ns} non-significant difference; ki = molecular relation (SiO₂x1,7/Al₂O₃).

Table 3 – Characteristics of the experimental semivariograms for the variables, organic carbon, iron oxide, aluminium oxide and ki at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

Parameter	OC (g.kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (g.kg ⁻¹)	Al ₂ O ₃ (g.kg ⁻¹)	ki
Data	nl	Square Root	nl	nl
Model	Linear	Gaussian	Exponential	Gaussian
Nugget effect (CO)	1.324	16.14	0.2796	0.31
Level (CO+C1)	1.324	32.29	0.5602	0.8010
Range (a)	-	652.00	683.00	1844
CO/CO+C1*	-	0.50	0.50	0.39
R ²	-	0.747	0.542	0.761
RSQ	-	103.00	0.0446	0.131

Note: O.C. – Organic Carbon; Fe₂O₃ – iron oxide; Al₂O₃ – aluminium oxide; ki – molecular relation ($\text{SiO}_2 \times 1,7 / \text{Al}_2\text{O}_3$); nl – naperian logarithm; *Spatial Dependence Rate; R² = coefficient of determination; RSQ = residual sums square

cy, as was established by Cambardella *et al.* (1994), and a similar result for organic matter was found by Cavalcante *et al.* (2007) and Greco *et al.* (2011) for degraded areas with conventional culture systems.

The correction of the abnormality trend presented in the data via the Kolmogorov-Smirnov test was made with the Gaussian and exponential models, which offered the smallest amount of error and biggest coefficient of determination, confirming Vieira (2000) and Landim (2006).

Generally, the soils of the studied area showed a higher concentration of ki and organic carbon at the surface and lower concentration in the area beneath the surface, and the opposite happens with the concentrations of aluminium and iron oxides, thus confirming the results found by Fiorio (2002) and Ferreira (2008). The ki presented a range of 1844 m, indicating that it is not losing spatial dependency with the erosive process and consequently would not be a good indicator of environmental degradation.

It can be observed in Figure 5 that the biggest concentrations of aluminium oxide are located in the lower regions of the micro-basin, where there is a preponderance of Luvisols. Meanwhile, the smallest values at the higher regions are located where there is a preponderance of Litolic Neosols, and intermediate values at the center of the micro-basin, with a preponderance of Luvisols.

It can be observed in Figure 6 that the smallest ki are located at the lower region of the micro-basin, close to the Itaparica Lake, related to the Cambisols, Regolitic Neosols, Planosol and Luvisol. The biggest values are located in the higher region, related to the Litolic Neosols, where there is less humidity and intermediate values are located at the center of the micro-basin.

It can be observed in Figure 7 that the largest values of organic carbon are located at the higher region of the micro-basin, in the Indigenous Territories of the Pakarás Serrote dos Campos, with the stony Litolic Neosols. Despite the presence of a strongly undulated terrain, the area shows a high resistance to erosion due to the stony covering over 100% of the surface. The organic matter distribution of the space has no relationship with the altitude, the soils, or the micro-basin location.

It can be observed in Figure 8 that the largest values of iron oxide can be found at the more active part of the relief with a predominance of Luvisols, and the smallest values are in the flat areas, where Regolitic Neosols, Planosols and Cambisols dominate, all with a sandy surface texture, indicating a direct relationship between the concentration of iron oxide and altitude with the erosive processes.

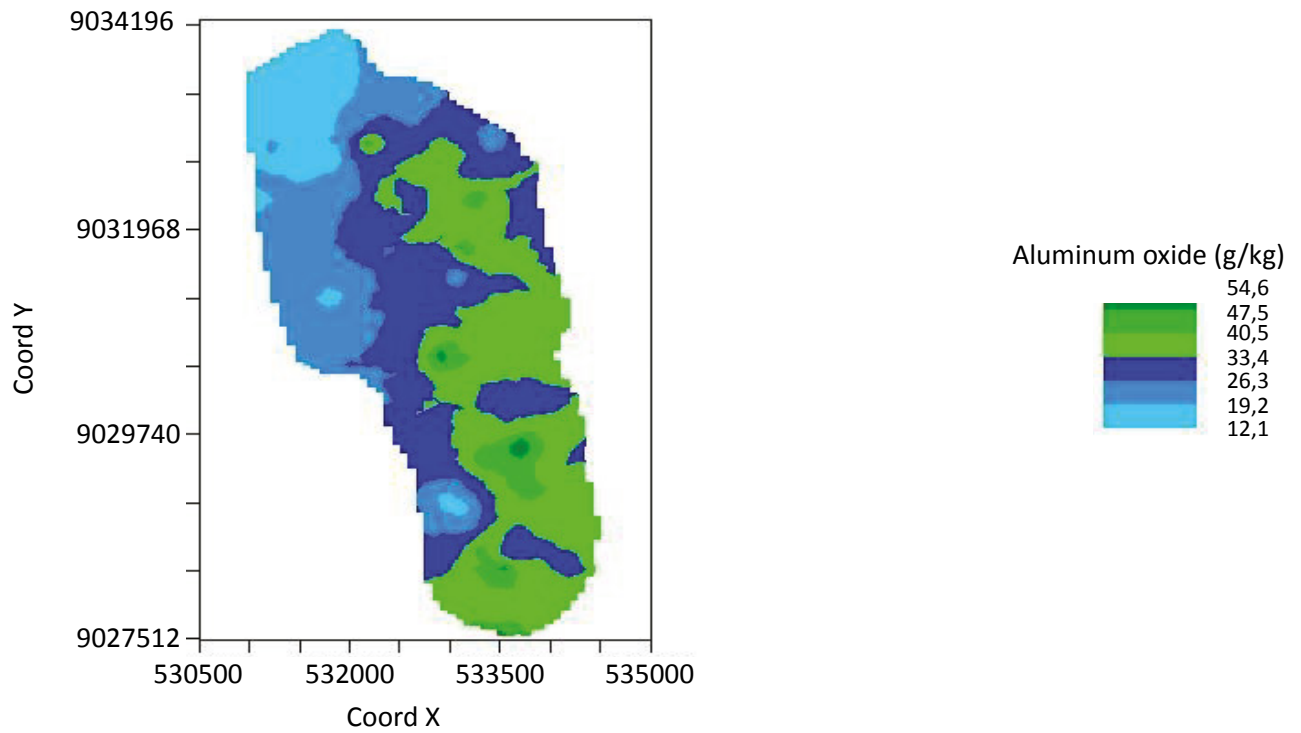


Figure 5 – Map of the distribution of aluminium oxide at the micro-drainage basin of Itacuruba creek.

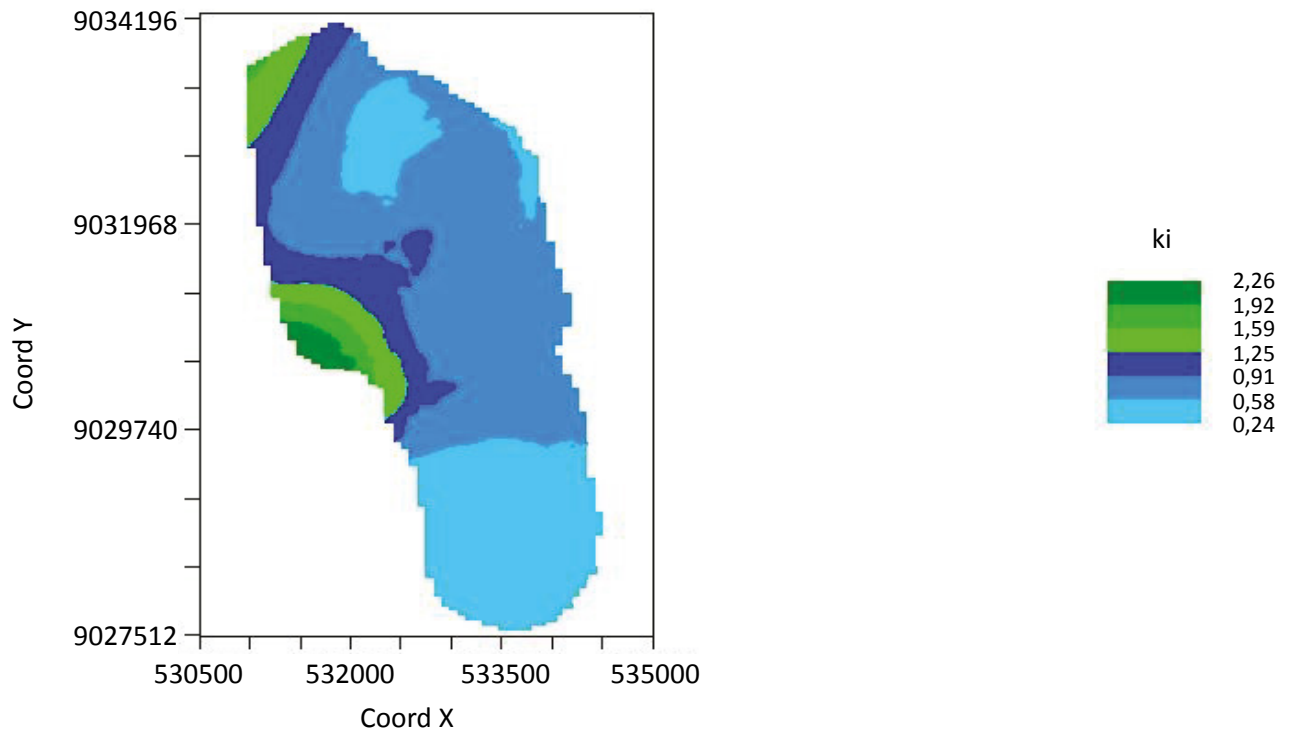


Figure 6 – Map of distribution of ki at the micro-drainage basin at Itacuruba creek.

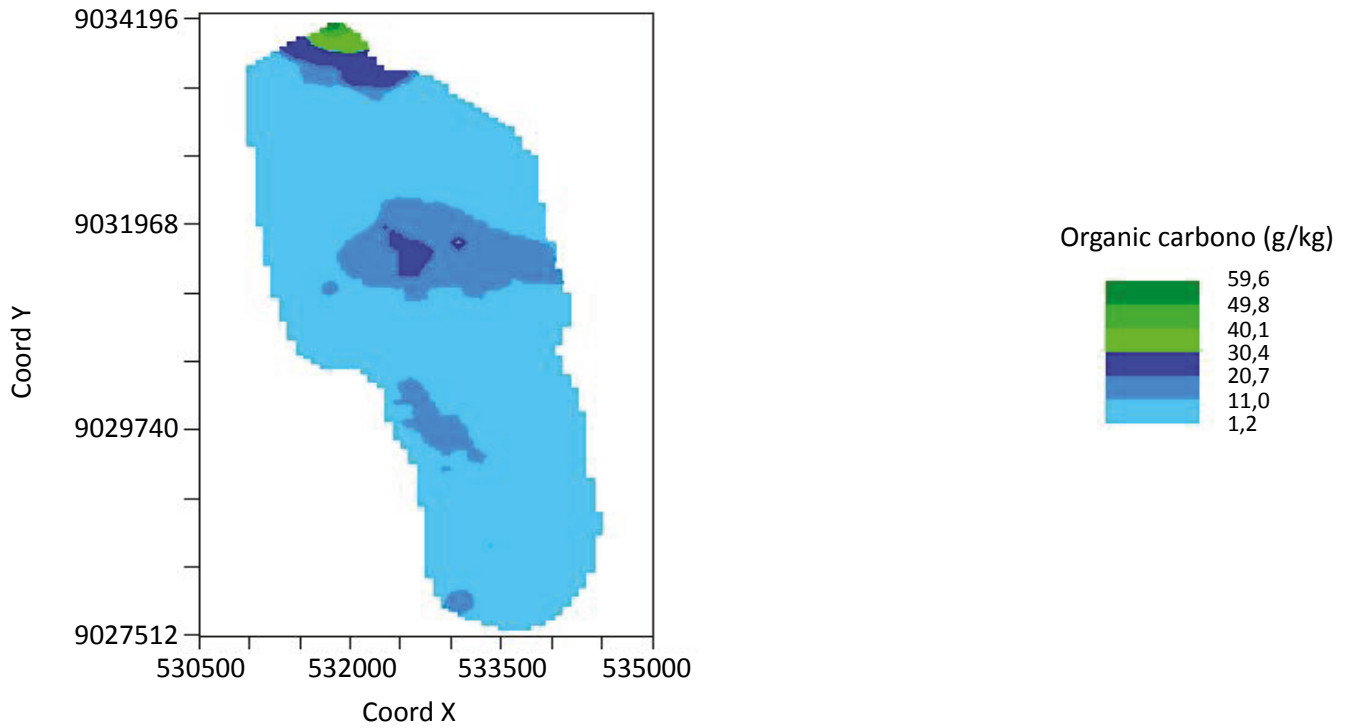


Figure 7 – Map of the organic carbon distribution at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek

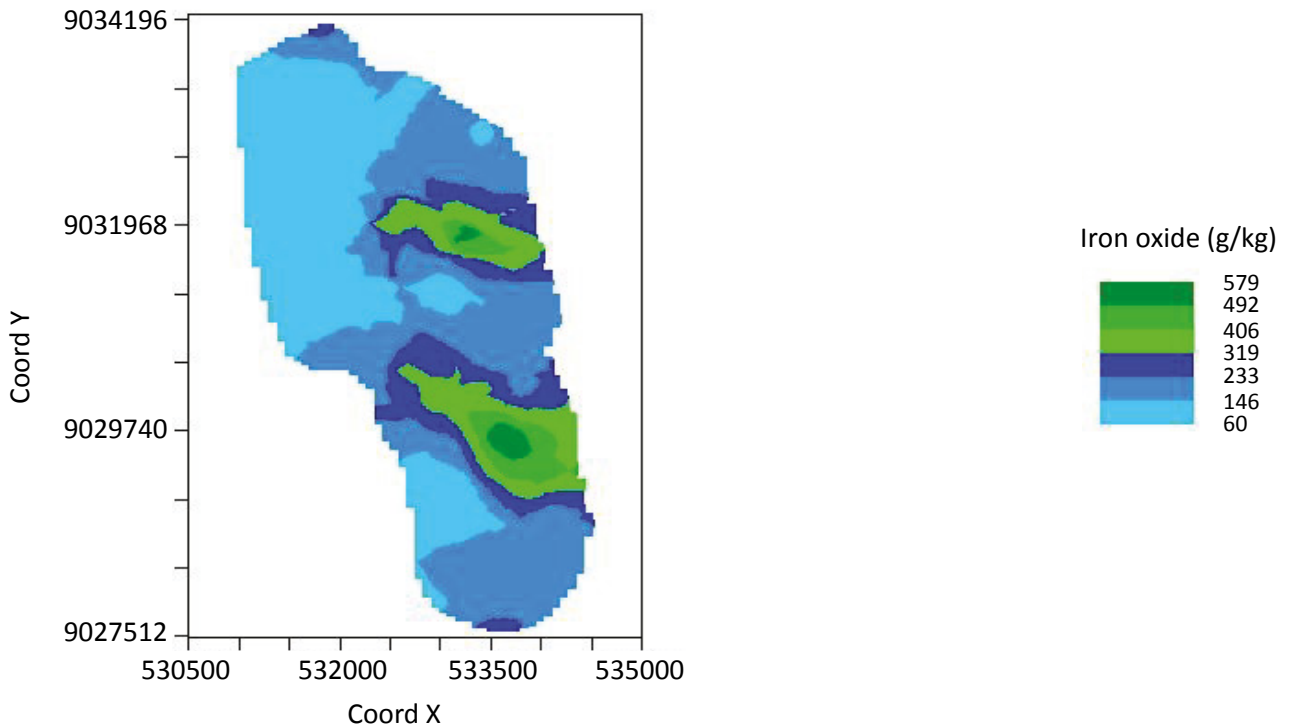


Figure 8 – Map of the iron oxide distribution at the micro-drainage basin of the Itacuruba creek.

The largest concentration of iron oxide occurs in the area under the surface. The areas represented by profiles 5 and 10 (Pinheiro & Sousa, 2014) were exposed by the erosion processes, confirming the results found by Sá et al. (2006), Fiorio (2002), and Ferreira (2008). The concentrated values at the surface, similar to those profiles and varying between 253 to 462 g.kg⁻¹, are much smaller than the verified values in the soil hori-

zons, respectively, 474.45 and 708 g.kg⁻¹, and the difference is erased by the superficial flow from heavy rains.

The small values of k_i and larger values of aluminium oxide at the proximity of the Itaparica Lake show the influence of greater humidity existing in the area of the São Francisco River and the existence of a more humid past, confirming Araújo Filho et al. (2000) and Jacomine et al. (1973).

The use of geostatistics to predict the environmental degradation

The morphogenesis process in equilibrium with the pedogenesis maintains the concentration of iron oxide close to the values gathered at its respective superficial horizon. The disequilibrium, stemming from the predominance of the morphogenesis, provides iron oxide concentrations close to the values of its respective soil horizons, due to the erosion of the superficial horizon, confirming the studies of Greco et al. (2011) and Ferreira (2008).

The analysis of the kriging maps obtained by the geostatistics and the analysis of the descriptive and regression statistics show the iron oxide concentra-

tions at the soil surface as a good indicator of the environmental degradation rate, which is affirmed by Fiorio (2002).

In future studies, and complying with the methodology described by Vieira (2000) and Landim (2006), the gathering of primary data (superficial samples for the sulfuric attack) can be realized in a grid. The points should be spaced of 600 m at the Itacuruba (PE) region, providing a better kriging for the variation of concentration of iron oxide, organic carbon, aluminium oxide and k_i .

CONCLUSIONS

- The geostatistics analysis has indicated that the iron oxide concentration at the soil surface is directly related to the superficial erosion. Additionally, it shows itself as an efficient, low cost tool in analyzing the environmental degradation that occurs in a certain region.
- This methodology can be used to monitor the expansion of degradation or the environmental recuperation of degraded areas.

REFERENCES

- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F. e BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, n. 32, p. 2235-2243, 2008.
- AQUINO, L. S.; TIMM, L. C.; NEBEL, A. L. C.; MIOLA, E. C. C.; PARFITT, J. M. B.; PAULETTO, E. A. Avaliação da capacidade de funções de pedotransferência em prever a estrutura de variabilidade espacial. *In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS*, 4. *Anais...* Botucatu, 14-15 maio, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. *Embrapa Solos*, Boletim de Pesquisa; 11. Rio de Janeiro, 2000. 378 p.
- ARRUDA, S. V. Caracterização de ambientes agrícolas e dos principais solos do município de Guarabira-PB. 2008. 105 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008. 105 p.

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas, Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURKO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, mar-abr, 2007.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Itacuruba, Estado de Pernambuco. MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C.; GALVÃO, M. J. T. G.; PEREIRA, S. N.; MIRANDA, J. L. F. (Org.). *CPRM/PRODEEM*, Recife, 2005. 311 p.
- DINIZ FILHO, E. T.; SOBRINHO, F. E.; SILVA, F. N.; MARACAJÁ, P. B.; MAIA, S. S. S. Caracterização e uso de solos em região semi-árida do médio oeste do Rio Grande do Norte. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 111-120, jul. 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (eds.). 3. ed. ver. ampl. EMBRAPA-SPI, Brasília, 2013. 353 p.
- ESRI. Environmental Systems Research, Institute, Inc. 1999.
- FERREIRA, C. A. Gênese de Latossolos Acinzentados em topossequência de Latossolos das chapadas do alto do vale do Jequitinhonha (MG). Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 2008. 84 p.
- FLORIO, P. R. Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos. 2002. 198 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2002.
- GOOVAERTS, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York, Oxford University Press, 1997. 483 p.
- GREGO, C. R.; COELHO, R. M.; VIEIRA, S. R. Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. vol. 35, p. 337-350, 2011.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO (ITEP). Rainfall data. Available in: <<http://www.itep.br/>>. Accessed in April, 10 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. Image Catalog. Available in: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Accessed in November, 16 2010.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press, 1989. 561 p.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. v.1, Recife, *Ministério da Agricultura/Sudene*, 1973. 359 p.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, Dec. 1951, p. 119-139.
- LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. *Terræ Didática*, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v. 34, p. 1883-1891. 2010.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*, Fas. 5, C. G. Fontainebleau, 1971.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica no solo: métodos de análises. Viçosa, 2005. 77p.

NEBEL, A. L. C.; AQUINO, L. S.; MIOLA, E.C.C.; PAULETTO, E. A. Avaliação de funções de pedotransferência na estimativa de parâmetros hídricos em um solo de várzea no município de Capão do Leão – RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17, 2008 e ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10, 2008. Pelotas. *Anais... Pelotas*, 2008.

PINHEIRO, R. S.; SOUSA, S. C. Classificação técnica e etnopedológica de solos da bacia hidrográfica do riacho Itacuruba. 2014, 75 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.75p.

POSSAS, J. M. C. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso (*Jathopra Curcas* L.) no estado de Pernambuco. 2011. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2011.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows). Plainwell: Michigan, Gamma Design Software, 1998. 152 p.

SÁ, I. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, A. S. Desertificação na região de Cabrobó-PE: a realidade vista do espaço. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3, 2006, Aracajú. *Anais...Aracajú*, 2006.

SILVA, F.B.R. E.; SANTOS, J. C. P; SILVA, A. B. Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos – Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife; 2001. CD-Rom. (Embrapa Solos. Doc. 35).

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, C. R.; MONTOVANI, L. E.; RIBEIRO, S. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos topográficos secundários no mapeamento de pedoformas. *Geociências*, São Paulo, v. 27, n.1, p. 63-77, 2008.

SOUZA, R. V. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, M. C.; CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SHULZE, S. M. B. B. Caracterização de solos em uma topo-climosequência no maciço de Triunfo – sertão de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, p. 1259-1270, 2010.

SURFER. Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. *User's Guide*. Golden Software, Inc. U.S.A. 2002. 640 p.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. and SCHAEFER, G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1. p. 1-54.

VIEIRA, S.R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R. Aplicações de geoestatística em pesquisa com cana-de-açúcar. In: MIRANDA-DINARDO, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. and LANDELL, M.G.A., eds. *Cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2008. p. 839-852.

SCENARIOS OF CLIMATE AND LAND-USE CHANGE, WATER DEMAND AND WATER AVAILABILITY FOR THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DE USO DA TERRA, DEMANDA E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Hagen Koch

PhD, Senior scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Research Domain Climate Impacts and Vulnerabilities – Potsdam (Brandenburg), Germany.

Anne Biewald

PhD, Senior scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Research Domain Climate Impacts and Vulnerabilities – Potsdam (Brandenburg), Germany.

Stefan Liersch

PhD, Senior scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Research Domain Climate Impacts and Vulnerabilities – Potsdam (Brandenburg), Germany.

José Roberto

Gonçalves de Azevedo

Full professor in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Technology and Geosciences Center (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brazil.

Gerald N. Souza da Silva

PhD student, UFPE – Recife (PE), Brazil.

Karolin Kölling

Master student, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Research Domain Climate Impacts and Vulnerabilities – Potsdam (Brandenburg), Germany.

Peter Fischer

PhD student, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB), Department of Ecohydrology – Berlin, Germany.

Robert Koch

PhD student, Technische Universität Berlin (TUB), Department of Landscape Architecture and Environmental Planning – Berlin, Germany.

Fred Fokko Hattermann

PhD, Senior scientist, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Research Domain Climate Impacts and Vulnerabilities – Potsdam (Brandenburg), Germany.

Address for correspondence:

Hagen Koch – P.O. Box. 601 203 – D-14412 – Potsdam (Brandenburg) – Germany – E-mail: Hagen.Koch@pik-potsdam.de

ABSTRACT

In this study, scenarios of changes in land-use patterns, agricultural production and climate, and their effects on water demand and availability in the São Francisco river basin (Brazil) are analysed. The global driver population growth, economic development, and trade liberalization are included. Using the regionalized version of a global agro-economic land- and water use model, impacts are analysed for two scenarios: a regionalized world with slow economic development, high population growth, and little awareness of environmental problems (A2), and a globalized world with low population growth, high gross domestic product (GDP) growth, and environmental sustainability (B1). A regional ecohydrological model is used to analyse the effect of these scenarios on water demand and availability. The climate scenarios in general show a wetter future (years 2021 – 2050), with wetter rainy seasons and drier dry seasons. The water availability for irrigated agriculture is high, while hydropower generation is declining by 3.2% (A2) and 1.7% (B1) compared to the reference.

Keywords: São Francisco river basin; land-use; agriculture; hydrology; MAgPIE; SWIM.

RESUMO

Neste estudo, analisa-se como as mudanças nos padrões de uso de solo, produção agrícola e mudanças climáticas podem afetar a demanda e a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio São Francisco, incluindo cenários de crescimento da população, desenvolvimento econômico, políticas e condições de mercado. Utilizando uma versão regionalizada do modelo agroeconômico global de uso de solo e água, impactos são analisados para dois cenários: um cenário com moderado desenvolvimento econômico, alto crescimento populacional e pouca consciência dos problemas ambientais (A2), e um cenário com moderado crescimento populacional, alto desenvolvimento econômico, e alta sustentabilidade ambiental (B1). Um modelo eco-hidrológico regional é usado para analisar os efeitos desses cenários. Em geral, os cenários climáticos mostram um futuro mais úmido (anos 2021 – 2050), com estações chuvosas mais úmidas e estações de seca mais intensas. A disponibilidade de água para a agricultura irrigada é alta, enquanto a geração de energia hidrelétrica está em declínio de 3,2% (A2) e 1,7% (B1) em relação ao de referência.

Palavras-chave: bacia hidrográfica do rio São Francisco; uso da terra; agricultura; hidrologia; MAgPIE; SWIM.

INTRODUCTION

Agricultural production and water scarcity are intrinsically linked. Agriculture is the largest user of the world's freshwater resources, being responsible for 70% of overall water consumption (GRAFTON & HUSSEY, 2011). The main driver of global water scarcity is increasing agricultural production due to population growth (FALKENMARK *et al.*, 1989; VOROSMARTY *et al.*, 2000). Since incomes in developing countries are expected to rise (ROSEGRANT, 2003) and diets of industrial countries will likely be adopted by many developed societies (PINGALI, 2007), the global demand for livestock products will increase (DELGADO, 2003). As the production of livestock-based calories requires more water than the production of vegetal calories, water resources will be put under additional pressure (HOEKSTRA & CHAPAGAIN, 2007).

The interplay of international food trade and demand play a decisive role for local and regional water availability. Studies have shown that water-scarce regions import water virtually embedded in food, thus alleviating scarcity (FADER *et al.*, 2011; HANASAKI *et al.*, 2010; HOEKSTRA & HUNG, 2002; OKI & KANAE, 2004) or export virtual water, thus aggravating scarcity (BIEWALD *et al.*, 2014).

Climate change will affect the water balance and the water demand for agricultural irrigation in many regions. With changing land use, that is, turning natural vegetation into agricultural land, these effects can be amplified. In regions with sufficient precipitation volumes, the effects on water availability can be negligible or even positive. In regions with low or temporally uneven distribution of precipitation volumes, agricultural production necessitates irrigation. Increased water withdrawals decrease streamflow and can have negative effects, for example, on hydropower generation, public water supply, and riverine ecology, and have the potential to aggravate upstream-downstream or transboundary conflicts. Montenegro & Ragab (2012) emphasize that future climate and land-use changes call for new water resources management and mitigation strategies. Furthermore, studies indicate that climate change will result in reduction of the national real gross domestic products (GDPs), which can adversely affect agricultural production (FARIA, 2012).

The relationship between climate and land-use is complex and acts at different spatial and temporal scales (CHASE

et al., 2000; PIELKE, 2005; ROUNSEVELL & REAY, 2009). Regional climate change is a consequence of global climate change and land-use changes, especially on the meso- and micro-scale (MÖLDERS, 2000; CONRADT *et al.*, 2007). Anthropogenic land-use changes usually occur on local or regional scales and are driven by local, national, and global drivers through international trade and other socioeconomic changes, as described earlier. Climate is the major driver of the hydrological cycle, and therefore even small changes in the climate parameters are affecting water balance components directly (BRONSTERT *et al.*, 2007). Additionally, land-use changes can result in strong impacts on hydrological processes (CALDER, 1992; DEFRIES & ESHLEMAN, 2004). Urbanization can result in higher flood peaks (MOSCRIP & MONTGOMERY, 1997), afforestation can increase evapotranspiration and decrease runoff (FOHRER *et al.*, 2001), whereas deforestation can increase peak discharges (SEIBERT & MCDONNELL, 2010; BIRKEL *et al.*, 2012).

The extent of climate and land-use change impacts on the water balance depends on the catchment properties, that is, climate conditions, predominating land-use and soil properties (SAHIN & HALI, 1996). Studies aiming at analysing both climate and land-use change impacts often find that climate change dominates on larger scales, whereas land-use change impacts can be more important on local or regional scales. For example, Lahmer *et al.* (2001) found that potential climate change impacts outweigh the effects of moderate conversion of cropland into dry pasture, meadow, forest, or fallow land in mesoscale catchments in Northern Germany. As climate is a major driver for crop growth, impacts of climate change on crop growth are also of concern (RÖTTER & VAN DE GEIJN, 1999; TUCK *et al.*, 2006; BELLARBY *et al.*, 2010; HABERL *et al.*, 2011; WENKEL *et al.*, 2013). However, the impacts of climate change on crop growth are subject to considerable uncertainties (GODFRAY *et al.*, 2010).

According to Lázaro *et al.* (2014), analyzing results simulated by different Global Circulation Models (GCMs) for Northeastern Brazil, some GCMs show an increase of up to 12% in annual precipitation, whereas others show a decrease of up to 42%. Additionally, Montenegro & Ragab (2010, 2012) found negative and positive precipitation trends for river basins in Northeastern Brazil, depending on the GCM used. Schaeffer *et al.*

(2008) simulated a reduction of hydropower generation of 4.3% and 7.7% for the São Francisco river basin for two climate scenarios (A2 and B2) for the years 2071–2100 based on runs of the GCM Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3).

Generally, climate change is expected to affect agriculture in Brazil negatively (CUNHA *et al.*, 2015). Martins *et al.* (2010) indicate that agriculture in some parts of Brazil can be seriously affected by climate change, but also is responsible for greenhouse gas emissions, as the world largest consumer of pesticides. Irrigation is seen as an adaptation strategy to climate change for farmers in Brazil. However, high costs for the installation, maintenance and operation can prevent farmers from applying irrigation (CUNHA *et al.*, 2015). Also the technical knowledge required and the necessary administrative work can impede the application of irrigation, especially at small-sized farms. Whereas in some regions of Brazil precipitation volumes are sufficient for rain fed agriculture all over the year, in regions with a longer dry period year-round cultivation is possible only by applying irrigation. The water demand for agricultural irrigation can put water resources under strong pressure. For instance, Ferraz *et al.* (2013) found for the state of Goiás, depending on the subregion, that between 2% and 44% of available water resources would be required to fulfill the irrigation water demand.

Analysing climate change effects on the suitability of land for agricultural production in Brazil, Assad & Pinto (2008) found a decrease for most of the crops considered, such as cotton, coffee, corn, or soybean. For sugar cane an improvement of growing conditions is expected, yet requiring irrigation in some regions, for example, the Northeast of the country. The area suitable for sugar cane can increase from approximately 6 million ha under recent climate to 13 million – 17 million ha by applying irrigation, depending on the climate scenario. Dalri & Cruz (2008) showed that even under humid condition in the state of São Paulo (Botucatu) irrigation can increase the yield significantly. Applying irrigation sums of 520 mm and 740 mm, while precipitation sums up to 1,422 mm and 1,484 mm over the entire growing

cycle, increases stem production by 43.5% and 67.2%, respectively. This means that of the overall 1,942 mm and 2,224 mm approximately one fourth and one third of the water requirements are covered by irrigation. Although irrigation increases the yield under humid conditions as in the state of São Paulo, it is seldom used because of the remaining paradigm that irrigation is economically not reasonable (SILVA *et al.*, 2014). By applying irrigation even in the semiarid northeastern parts of Brazil sugar cane can be grown. Silva *et al.* (2012) estimate a water demand of 1,710 mm for the entire growing cycle of sugar cane; however, the annual precipitation at the location of their experiment in the semiarid Sub-middle São Francisco river basin (Juazeiro) sums up to 523 mm. Assuming that the water requirements must not be fulfilled by 100%, that is, applying deficit irrigation, the irrigation water demand still is in the magnitude of 800 to 1,000 mm for the entire growing cycle of sugar cane. This means approximately two thirds of the water requirements must be covered by irrigation. However, Maneta *et al.* (2009) found that increasing irrigation water demand in the São Francisco river basin would not affect other uses such as hydropower generation, negatively.

Besides climatic factors, environmental effects of sugar cane production are also important. According to Massagardi *et al.* (2013), the strong increase of ethanol production based on sugar cane, mainly to produce car fuel, as proposed by the Decennial Plan for Energy Expansion of the *Ministério das Minas e Energia* (MME) should be viewed critically, because social and environmental effects are not considered. The named plan would require the expansion of sugar cane area from 8 million ha in 2012 to at least 13 million ha in 2021, assuming also an increase in productivity (t/ha) of 30% (MASSAGARDI *et al.*, 2013). Land-use change towards sugar cane would result in changing hydrological conditions, as altered groundwater recharge and stream flow (MONTENEGRO & RAGAB, 2012). This increase in area used for sugar cane production would mean extension of cultivation into areas climatically not optimal, that is, where irrigation is required.

OBJECTIVES

In this study, changes in land-use patterns, agricultural production and climate, and their effects on water demand and availability in the São Francisco river ba-

sin are analysed and assessed. Global drivers, such as population growth, economic development, and trade liberalization are included. Using a regionalized ver-

sion of the global agro-economic land- and water use Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MAGPIE), adapted to the São Francisco river basin, impacts of global change scenarios are analysed consistently. To exemplify how these scenarios can inform about the future development of land-use in the São Francisco river basin, outputs for two different Special Report on Emissions Scenarios (SRES) are analysed. Results are shown for scenario A2, which depicts a regionalized world with slow economic development, as well as high population growth and little awareness of en-

vironmental problems, and scenario B1, which is a globalized world with low population growth, high GDP growth and environmental sustainability. Further information on these scenarios can be found in Siegmund-Schultze *et al.* (2015). The scenarios resulting from MAGPIE are used as inputs for the ecohydrological Soil and Water Integrated Model (SWIM) in order to analyse the land-use and climate change effects on water availability and demand in the region. The focus of this paper is on irrigation water demand; the effects of changed land use and water demand on hydropower generation are also included.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The São Francisco river basin—the focus area of this study—in the east of Brazil has an area of approximately 640,000 km². The drainage area occupies approximately 8% of the Brazilian territory and covers six states: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás, and the Federal District. More than 14.2 million people, approximately 7.5% of the country's population, lived in the region in 2010 (IBGE, 2010). The climate shows diverse characteristics. The headwaters receive annual precipitation volumes up to 2,000 mm/a, whereas the middle and lower part are characterized by much lower annual precipitation volumes such as only 350 mm/a in some regions (CBHSF, 2004). According to the *Agência Nacional de Águas* and the *Ministério do Meio Ambiente* (ANA/MMA, 2013) the mean discharge at the mouth of the São Francisco river is 2,846 m³/s. Some sub-basins, for example, Rio das Velhas, Paraopeba and Rio Grande Verde, are critical regarding the relation between water demand and water availability (ANA/MMA, 2013). Besides natural factors such as low or temporally uneven distribution of precipitation and shallow soils with low water storage capacity, the ever increasing water demand, especially for agricultural irrigation, is seen as a problem in the region (Medeiros *et al.*, 2013; Braga *et al.*, 2008). Although agricultural production is relevant for the region, estimates concerning the size of agricultural area are uncertain. Between 2006 and 2010 the water withdrawals in the

basin have increased from 180.8 to 278.8 m³/s, with irrigation being the most important user, demanding 68% (2006) and 77% (2010) of the overall withdrawals (ANA/MMA, 2013). An increase in water demand is expected, for example, with the Transposition Project (Northern axis: withdrawal from river stretch between reservoirs Sobradinho and Itaparica; Eastern axis: withdrawal from Itaparica reservoir), where water is transferred to northern regions inside and outside of the basin (Lerner & Carpio, 2006). The minimum quantity transferred by the two axes of the transposition is approximately 26.4 m³/s, while during high flows up to 127 m³/s (daily maximum of 114.3 m³/s) can be transferred (ANA, 2005). In the middle of the last century, the first large dam, Três Marias, located in the Upper São Francisco river basin (total capacity of 19,528 hm³, live capacity of 15,278 hm³) was constructed to increase the reliability of water supply. In the late 1970s, Sobradinho reservoir (total capacity of 34,117 hm³, live capacity of 28,669 hm³) and in the late 1980s, Itaparica reservoir (total capacity of 10,782 hm³, live capacity of 3,549 hm³) were constructed in the Sub-middle São Francisco river basin (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a). These reservoirs were constructed mainly for hydropower generation and flood control. However, they also supply water for agricultural irrigation and to municipalities and are used to augment streamflow for navigation.

Scenarios

In this study, two scenarios described in the SRES (Nakicenovic & Swart, 2000) were used: i) A2, which depicts

a regionalized world with slow economic development, as well as high population growth and little awareness

of environmental problems, and ii) B1, which is a globalized world with low population growth, high GDP growth, and environmental sustainability.

The scenarios include also information on climate change. The projected global average surface warming at the end of the century for the two different SRES scenarios is 1.1 to 2.9°C for scenario B1 and 2.0 to 5.4°C for scenario A2. The climate scenarios used in general show a clear sign of increasing air temperatures but no clear signal for precipitation. Overall the future scenario A2 is markedly wetter and scenario B1 is somewhat wetter compared to the historical period. It also needs to be mentioned that the GCM HadCM3 is rather wet in the historical period, that is, simulated discharges are higher than observed ones. However, the spatial distribution gives a much more differentiated picture. Whereas the southern part of the São Francisco river basin is becoming much wetter, regions in the northern part are becoming drier. As most of the runoff is generated in the southern part, the overall discharge is also increasing.

The SRES scenarios provide a number of qualitative indicators which have to be translated into quantitative model input for an agro-economic model. In the context of agricultural modeling, population development translates into demand for crop and livestock products, while the development of GDP in the different world regions influences dietary habits such as meat consumption, amount of calories consumed or wasted per person. The exogenously given projections for food demand in the model are derived from scenario information on consumption per capita (in kcal) and the population growth (VALIN *et al.*, 2014). Based on historical time series, the amount of consumption per capita (in kcal) varies, depending on the national per capita GDP. In the globalized B1, world trade barriers are relaxed by 10% per decade globally, starting from 2010. In the regionalized A2, trade liberalization is slowing down, in which trade barriers are relaxed by 5% per decade. Table 1 shows how the qualitative indicators are translated into model parameters.

Table 1 – Specific parameters for Latin America based on Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A1 and B2.

Year	Population in Latin America (million people)		Daily Kcal per capita		Share of diet which is based on livestock-calories [%]		Protection of natural areas	
	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
Scenario	A2	B1	A2	B1	A2	B1	A2	B1
2005	572	553	2,775	2,824	20	20	-	-
2035	901	724	3,199	3,256	20	30	Low	High

The agro-economic Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MAGPIE)

MAGPIE (LOTZE-CAMPEN *et al.*, 2008) is a global, spatially explicit, economic land-use model. The model distinguishes ten world regions on the demand side and uses input data of 0.5 degree resolution on the supply side. The ten world regions are: Sub-Sahara Africa, Centrally Planned Asia (including China), Europe (including Turkey), Former Soviet Union, Latin America, Middle East and North Africa, North America, Pacific OECD, Pacific Asia, and South Asia (including India). Due to computational constraints, all model inputs on the supply side are aggregated to clusters for the optimization process based on a k-means clustering algorithm (DIETRICH *et al.*, 2013). With income and population projections as exogenous inputs, demand for agricultural commodities is projected and produced for 15 food crops. As

demand is scenario-specific and changes over time, it does not react to changes in supply or any other variables. The model simulates time steps of 10 years and uses in each period the optimal land-use pattern from the previous period as initial condition. Spatially explicit land-use types in MAGPIE comprise cropland, pasture, forest, urban areas, and other land (KRAUSE *et al.*, 2013). The objective function of MAGPIE minimizes global agricultural production costs, which involves factor costs for labour, capital, and intermediate inputs derived from the GTAP database (NARAYANA & WALMSLEY, 2008), investments into research and development (R&D), land expansion costs as well as trade and transport costs. R&D investments allow MAGPIE to increase crop yields in a particular region. This endoge-

nous implementation of technical change (TC) is based on a surrogate measure for agricultural land-use intensity (DIETRICH *et al.*, 2014). Expansion of cropland is the alternative to increase the production level.

On the biophysical side, the model is linked to the grid-based dynamic vegetation model Lund-Potsdam-Jena managed Land (LPJmL) (BONDEAU *et al.*, 2007), which provides important biophysical inputs like crop yields under both rainfed and irrigated conditions, related irrigation water demand per crop, and water availability depending on climatic conditions on a 0.5 degree resolution. Results of the General Circulation Model (GCM) HadCM3 were supplied to LPJmL as monthly data fields

The ecohydrological Soil and Water Integrated Model (SWIM)

The ecohydrological Soil and Water Integrated Model (SWIM; KRYSANOVA *et al.*, 1998, 2000) is a continuous-time spatially semi-distributed ecohydrological model. It is process-based and combines physics-based processes and empirical approaches. It was developed from the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), version '93 (ARNOLD *et al.*, 1993) and MATSALU, developed in Estonia for the agricultural basin of the Matsalu Bay, models (KRYSANOVA *et al.*, 1989), primarily for climate change and land-use change impact studies. Hydrological processes, vegetation growth, erosion, and nutrient dynamics are simulated at the river-basin scale. Hydrotopes or hydrological response units (HRUs) are the core elements of the model. Hydrotopes are generated by overlaying maps of land-use and land cover, soil, and sub-basins. The hydrotopes are considered as units with the same properties regarding biophysical processes. There is no lateral connection between hydrotopes in the model. All processes are calculated for hydrotopes using daily time-steps. In addition to spatial data, SWIM requires temporal input data, such as daily climate data including precipitation, air temperature (minimum, maximum, mean), radiation, or humidity. SWIM has been developed for (central) European climate conditions and has been widely used for model-supported impact assessment and decision support (HATTERMANN *et al.*, 2011). For the application in the southern hemisphere a number of adaptations were necessary, e.g. concerning vegetation dynamics that are temperature driven in (central) Europe but precipitation driven in Brazil. For the setup

of mean temperature, precipitation, cloudiness and number of wet days (HEMPEL *et al.*, 2013). LPJmL simulations of crop yields and water availability used as input in the MAGPIE model are generated without CO₂ fertilization.

Although the global land- and water use model MAGPIE is based on about 60,000 spatially explicit cells, due to computational reasons these cells have to be aggregated to a couple of hundreds aggregated units for simulations. For the adaptation of the global model to the São Francisco river basin, the region was simulated based on 10 subregions with similar climatic characteristics instead of embedded in one larger simulation cluster (BECK, 2013).

of the SWIM model for the São Francisco river basin geographical data, that is, maps of land-use and soils on a 0.5 x 0.5 km grid were used. The calibration and validation of the SWIM model is described in Koch *et al.* (2016). Climate data from the Integrated Project Water and Global Change (WATCH) (<http://www.eu-watch.org/>; Weedon *et al.*, 2011) were used in the calibration and validation. The results from the simulations using the WATCH data are also used for comparison with simulations using data from the GCM HadCM3.

The simulations with SWIM require a reliable database for land-use in the whole river basin. To make the land-use scenario results of MAGPIE applicable, high-resolution data about present land-use were required. From MMA (2000, 2002) high-resolution land-use data are available for the Sub-middle (*Submédio*) and Lower (*Baixo*) São Francisco river basin. According to these data, cropland covers 3.3% (year 2000) and 9.8% (year 2002) of the Sub-middle and Lower São Francisco river basin, respectively. However, high-resolution land-use data are not available for the other subregions of the river basin. Harvested areas for temporary and permanent crops from *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE, 2014) on a municipality level were analyzed for the São Francisco river basin. The areas given for temporary crops in the years 2009, 2010, and 2011 are 3,664,244 ha; 3,502,113 ha; and 3,471,131 ha, respectively, whereas for permanent crops 309,198 ha; 318,393 ha; and 321,773 ha, respectively, are given. The sum of temporary and permanent crops in the years 2009, 2010, and 2011 is 3,973,442 ha (share of

cropland on the total area of the São Francisco river basin 6.3 %); 3,820,506 ha (6.1 %); and 3,792,904 ha (6.0%), respectively. In the database of the *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE) (2014), which was analyzed for different years, data for some municipalities are missing. Therefore, we do not assume that the agricultural area has declined from 2009 to 2011, but that the small differences in the numbers are resulting from a discrepancy in the number of municipalities included.

A comparison of different land-use data sets showed that the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land Cover product MCD12Q1 (FRIEDL *et al.*, 2010) annual data set for the Sub-middle and Lower São Francisco river basin had the best match with the data of MMA (2000, 2002). In the MODIS data set cropland covers 2.4% and 11.6% in the Sub-middle and Lower São Francisco river basin, respectively. The slightly higher value for the Lower São Francisco river basin—11.6% compared to 9.8%—can be explained by a small increase in cropland area between 2002 and 2010. However, for the Sub-middle São Francisco river basin the value for 2010 is markedly below that of MMA (2000)—2.4% compared to 3.3%. It was found that large and mostly irrigated areas are not included in the MODIS data set in this region. In a previous study, irrigated areas for the Sub-middle and Lower São Francisco river basin were delineated using remote sensing (SILVA *et al.*, 2014). By combining the MODIS data set with the data from Silva *et al.* (2014) a new land-use data set for the whole river basin was created. In the new data set cropland accounts for 6.6% of the entire São Francisco river basin, a value very close to the data given by IBGE (2014) for 2009 to 2011, which ranged from 6.0% to 6.3%.

From IBGE (IBGE, n.d.; *Potencial_agricola*), data on potential agricultural land-use were available. These data, based, for example, on soil properties and topography, were combined with climate data. Areas with a dry season surpassing 8 months according to *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE, n.d., *Climas*) were excluded from rain fed agriculture. It was assumed that a minimum of three to four months with precipitation is required for any kind of rainfed agricultural activity. The potential for rainfed agriculture increases with decreasing length of the dry season.

MMA data on the potential for irrigated agriculture (MMA, n.d., *Terras para irrigação*), based on data of Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF, 1989), were available. Using information on the location of potential large scale irrigation projects, such as those from *Agência Nacional de Águas* (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004b) and *Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba* (CODEVASF, n.d.), regions with potential for irrigated agricultural use were delineated. It was assumed that the maximum distance for pumping water is 60 km (see CODEVASF, 1989).

For both scenarios two runs were carried out with SWIM: in the first run the natural state—without considering water management—is simulated (reservoir management and water withdrawals); in the second run the managed state—including water management—is simulated (reservoir management and water withdrawals). In the simulations of scenario B1 including water management, 44 irrigation projects are included. In scenario A2, the number of irrigation projects increases to 59.

RESULTS AND DISCUSSION

Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MAgPIE)

With global and regional socioeconomic changes the overall land-use patterns are also impacted. Only in the regionalized world with little environmental awareness (A2) cropland in the São Francisco river basin does increase in 2035 compared to 2005 at the expense of natural vegetation. Overall cropland more than doubles (4.4 million ha in 2005 to 9.5 million ha in 2035), while natural vegetation area decreases by 22% (from 26.6 million ha to 20.7 million ha). Pasture

area is not influenced in either of the two scenarios. Whereas cropland area does not change in B1, the crops cultivated do change. The cultivation of maize and soybean totally cease, while fodder area decreases by 50% in 2035 compared to 2005. The agricultural area cultivated with sugar cane is in 2035 five times the size of 2005 (increase from 0.5 million ha to 2.5 million ha). In A2, soybean crop area decreases by 31% in 2035. Sugar cane area increases

15 fold, while maize and fodder areas increase by 23% and 167%, respectively (Figure 1).

The massive increase in cropland in scenario A2 in 2035 can be explained by three socioeconomic developments. First, the population increases in Latin America from 572 to 901 million people, thus increasing the overall demand for food. Second, trade is still restricted, so that imports can only partly ease the pressure on the land. And third, with little environmental awareness natural areas are not protected and cropland expansion is not restricted.

Fodder demand increases in the São Francisco river basin in the wealthy B1 scenario due to a higher share of livestock based products of 30% compared to 20% in scenario A2. In the poorer A2 scenario, demand increases due to population growth. Since fodder trade is restricted between regions, the massive increase in fodder area in scenario A2 results from the increased demand. The decrease of fodder area in scenario B1, despite the increasing demand, is possible because of the increase in yields from 6.9 t/ha (dry matter) to 9.15 t/ha (dry matter).

Sugar cane is the only crop whose production is increased in scenario A2 as well as in scenario B1. This is true although sugar cane is massively imported in scenario B1, in which imports are 2.4 times higher than in scenario A2. This can be partly explained by an increase in demand from 2005 to 2035 by more than 200% in both scenarios. The concentration of irrigated sugar cane production in the São Francisco river basin is especially high in scenario A2 with high global warming potential, as the availability of irrigation water from surface water is increased in 2035 compared to 2005 in this scenario.

According to the simulations, the agricultural production of maize will almost cease in the São Francisco river basin in scenario B1 over the next decades and will shift to other Latin America regions. On the one hand this is due to the relatively good yields in other parts of Latin America compared to the São Francisco river basin, which make a shift of production outside of the basin profitable. On the other hand, scenario B1 provides the possibility to import maize; consequently, imports are 1.7 times higher than in scenario A2.

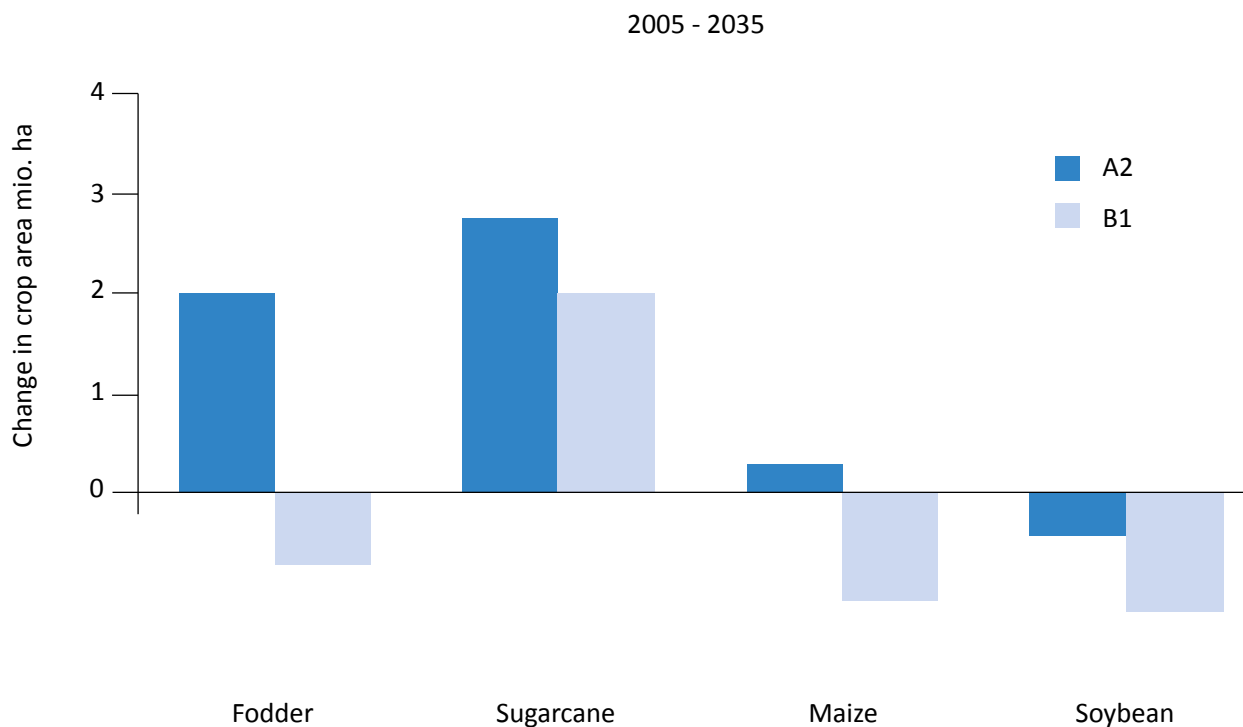


Figure 1 – Changes in the agricultural land used for the different crops in million ha.

The annual demand for soybean in Latin America is in the wealthy B1 scenario with 86 million tons dry matter more than twice as high as in the A2 scenario. The high demand results from the high demand for livestock related products and the fact

SOIL AND WATER INTEGRATED MODEL (SWIM)

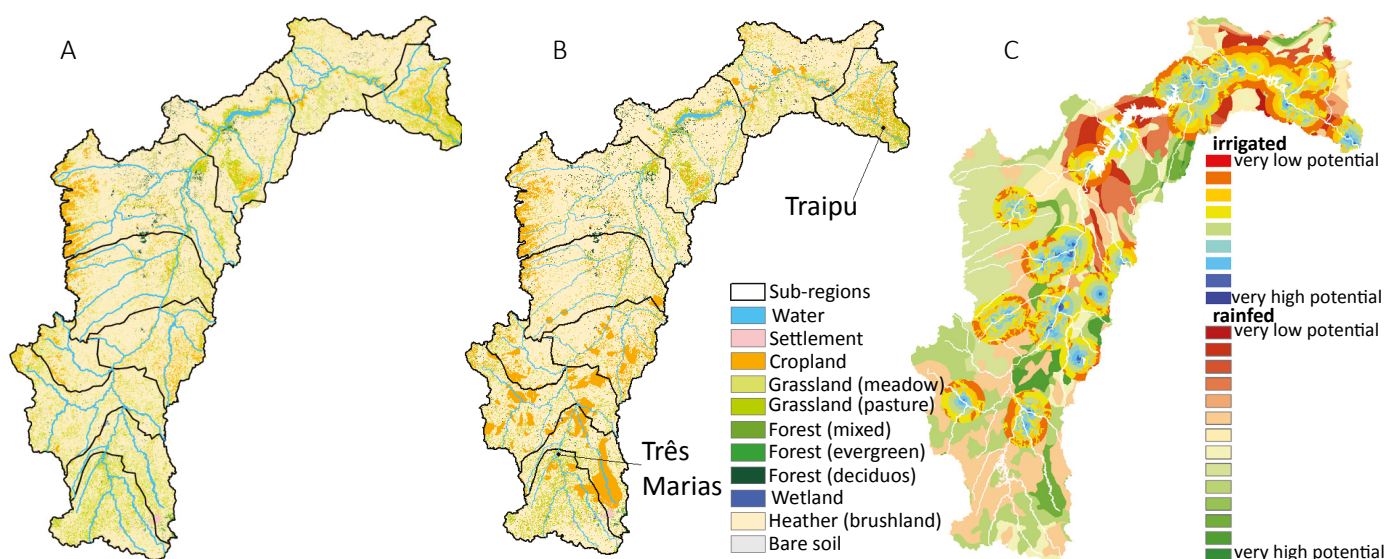
In the scenarios there is a strong (A2) and almost no change (B1) in land-use. In scenario A2, all planned and potential irrigation projects of CODEVASF are implemented, whereas in B1 only projects already started will be realized. The land-use change results of MAgPIE for scenario A2 were delivered for the 10 subregions shown in Figures 2A and 2B. These values, given as change signal in percent, are used in a Monte Carlo based search algorithm, which is conditioned by the suitability of a specific area (grid cell) for rainfed or irrigated agriculture. The suitability indexes for these land use classes are shown in Figure 2C. Starting with the areas of highest suitability in each subregion, nonagricultural land is converted into agricultural area until the percentage change as delivered by MAgPIE is reached. Settlements and water bodies cannot be converted into agricultural area. The irrigation projects implemented in A2 are on account of natural vegetation (Figure 2B), whereby

that soybean is essential for feeding livestock. The decrease of soybean area is possible through a decrease of exports in scenario B1 and an increase of yields from 1.5 t/ha (dry matter) to 2.4 t/ha (dry matter) in both scenarios.

also secondary vegetation is considered as natural to be discriminated from agricultural land or settlements. In the parts of the Upper, Middle and Lower São Francisco river basin receiving higher precipitation volumes also large areas are converted from natural vegetation to rainfed agriculture (Figure 2B).

The effects of changed land-use on natural runoff—without considering water management—in scenario A2 are rather low and are not displayed here. The reason for these small effects on natural runoff is that natural vegetation is mainly converted into agricultural area, that is, one type of vegetation is replaced by another type of vegetation.

In Figure 3 the development of irrigation water demand in scenarios A2 and B1 for the São Francisco river basin is shown. It has to be pointed out that the dates given in Figure 3 are scenario years and are not to be interpreted



2A: reference based on MODIS data, adapted as described in the text; 2B: scenario A2 with increased agricultural land-use; 2C: suitability of land for rain-fed and irrigated agriculture (MMA, n.d.); black lines (2A&B): delineation of 10 sub-regions.

Figure 2 – Land-use in the São Francisco river basin.

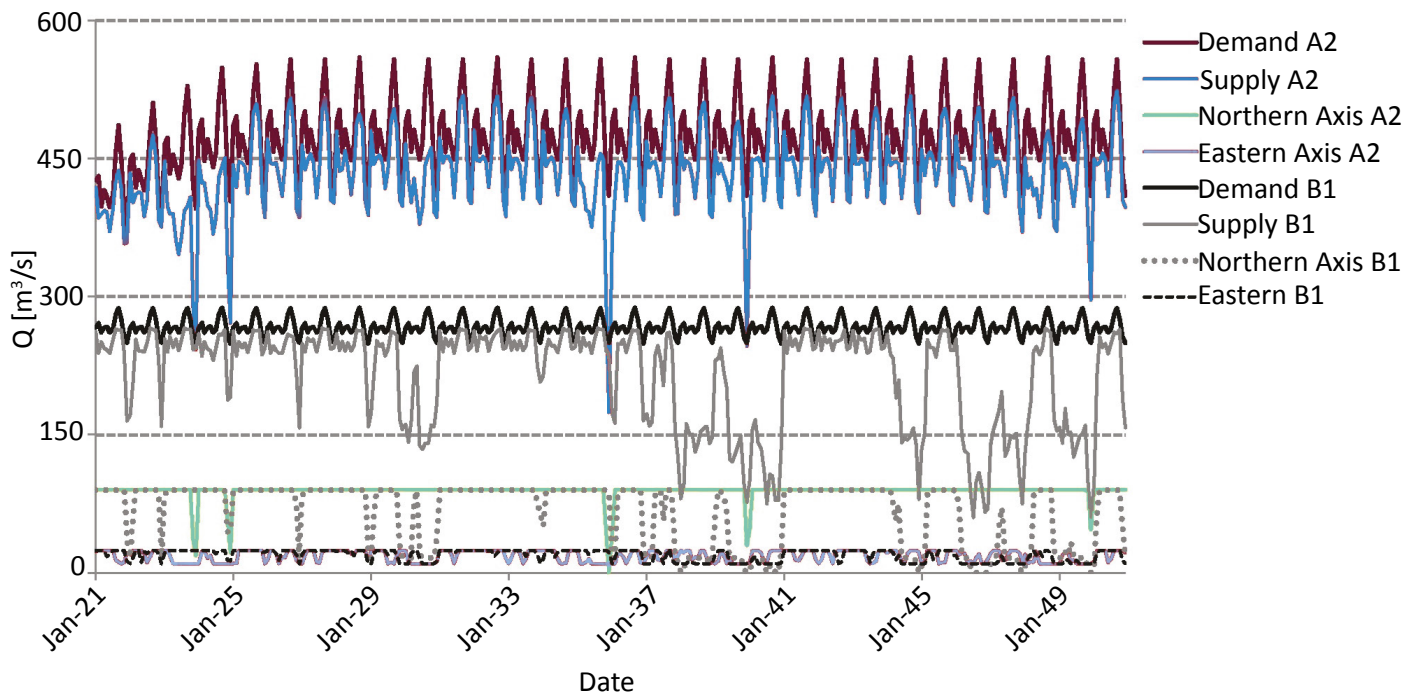


Figure 3 – Development of irrigation water demand and supply in scenarios A2 and B1 for the São Francisco river basin, withdrawals for transposition project (Northern axis and Eastern axis).

ed as calendar years, for example, scenario year 2040 shows the climate simulated around the decade 2036 – 2045. The minimum, mean, and maximum values for irrigation water demand in scenario B1 (years 2021 – 2050) are 249.1 m³/s, 267.3 m³/s, and 287.9 m³/s, respectively. In scenario A2 (years 2021 – 2050) minimum, mean, and maximum values for irrigation water demand are 369.1 m³/s, 474.3 m³/s, and 559.7 m³/s, respectively. In the simulations, a strict observation of minimum discharges, for instance, 1,300 m³/s for the stretch between the reservoirs Sobradinho and Xingó, is assumed. This means, only water above this value can be withdrawn for irrigation or other uses.

Under consideration of reservoir releases and minimum discharges the simulated minimum, mean, and maximum values for irrigation water withdrawals are 59.5 m³/s, 214.9 m³/s, and 265.6 m³/s in scenario B1 (years 2021 – 2050). In scenario A2 (years 2021 – 2050) simulated minimum, mean, and maximum values for irrigation water withdrawals are 174.1 m³/s, 435.9 m³/s, and 523.6 m³/s. The safety of supply for

irrigation water for the whole river basin, calculated as the sum of water withdrawn divided by the sum of water demand for the whole time period (2021 – 2050), in scenarios A2 and B1 is 92% and 80%, respectively. In the month of lowest water availability, calculated as water withdrawn divided by water demand for each month separately, only 43% and 23% of the demanded water can be supplied in scenarios A2 and B1, respectively.

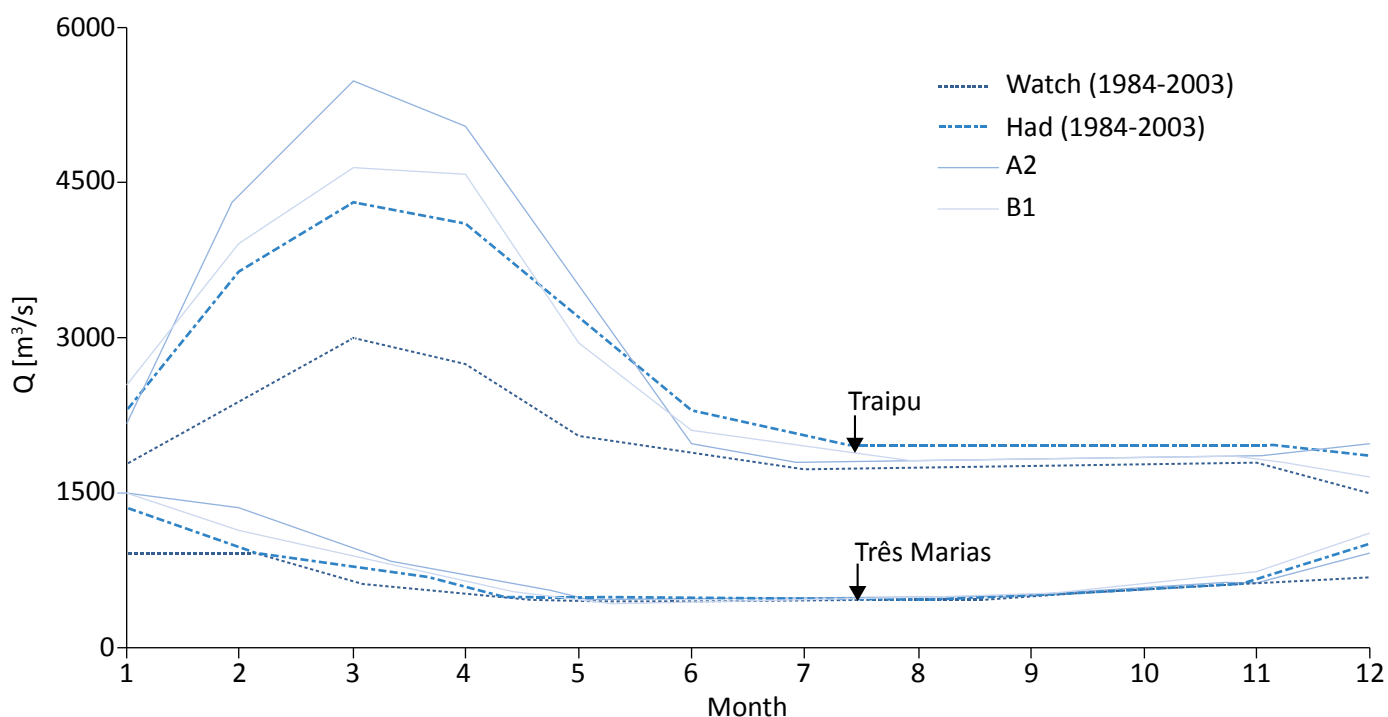
In the simulations, the quantities transferred by the two axes of the transposition project (Northern axis and Eastern axis) are considered. For the Northern axis, with a maximum capacity of 90.0 m³/s and withdrawal from river stretch between reservoirs Sobradinho and Itaparica, the mean withdrawal is 88.4 m³/s in scenario A2, whereas in scenario B2 a mean withdrawal of 66.1 m³/s is simulated. For the Eastern axis, with a maximum capacity of 24.0 m³/s and withdrawal from reservoir Itaparica, the mean withdrawal is 18.3 m³/s in scenario A2 and 19.1 m³/s in scenario B2 (Figure 3). Under extreme drought

conditions and under consideration of a minimum discharge of 1,300 m³/s downstream of reservoirs Sobradinho, no water can be withdrawn for the Northern axis in both scenarios. However, this is more frequent in the drier scenario B2. For the Eastern axis, the minimum demand of 10 m³/s from reservoir Itaparica can be supplied in both scenarios all the time.

The mean outflow simulated for reservoir Três Marias, located in the Upper (Alto) São Francisco river basin, is 607 m³/s and 691 m³/s for the reference based on WATCH climate data and on GCM HadCM3 climate data (1984 – 2003), respectively. In the scenarios A2 and B1, it is 761 m³/s and 752 m³/s, respectively (2021 – 2050). The discharges simulated for gauge Traipu, located in the Lower (Baixo) São Francisco river basin, is 2,033 m³/s, 2,624 m³/s for the reference based on WATCH climate data and on GCM HadCM3 climate data (1984 – 2003), respectively. In the scenarios A2 and B1 it is 2,796 m³/s, and 2,649 m³/s, respectively (2021 – 2050). The simu-

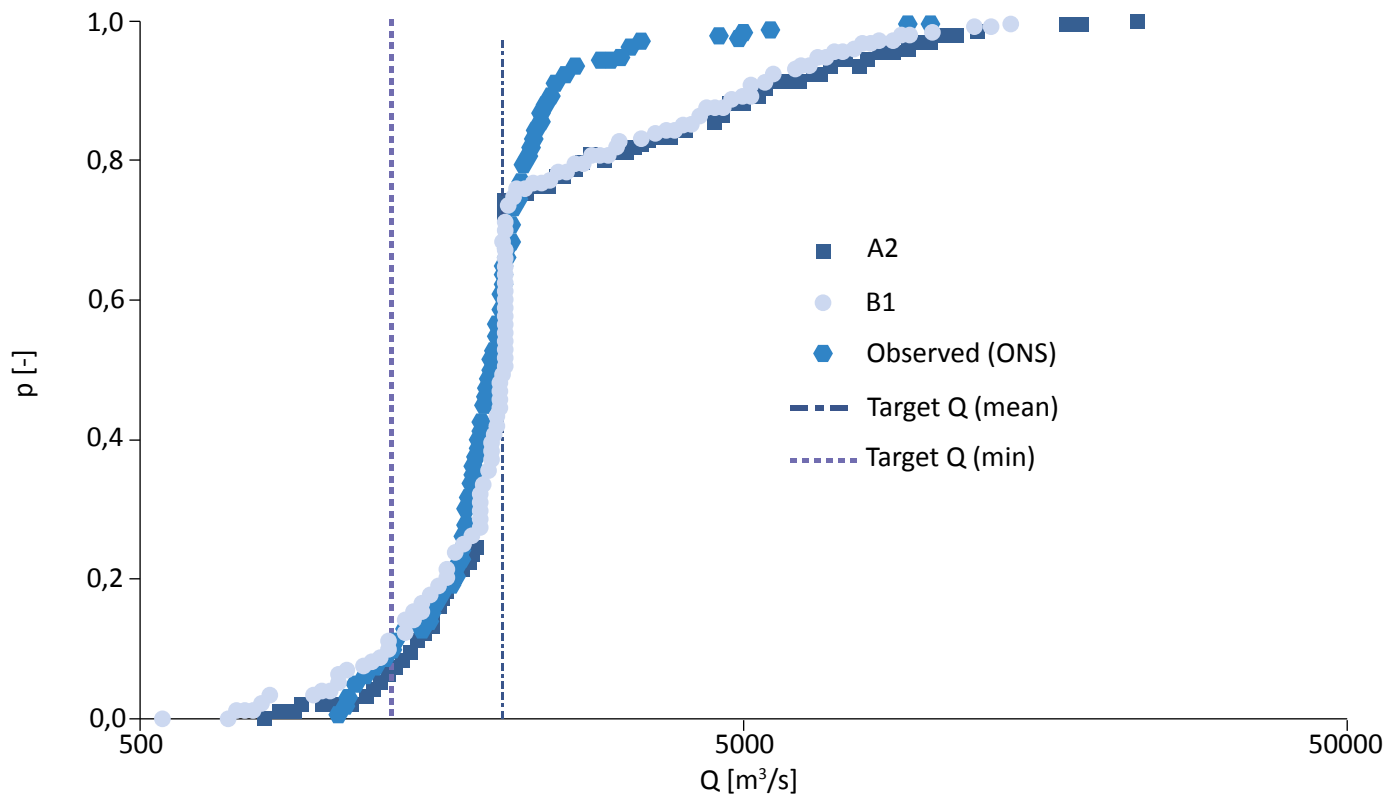
lated mean monthly outflow from reservoir Três Marias and the discharge at gauge Traipu are shown in Figure 4.

The mean values given allow a first assessment of climate change and land-use change effects on discharges. However, the probability distribution of discharge values is of high interest. Inflow and outflow time series for the reservoirs Sobradinho and Itaparica, up to the year 2014, were delivered from *Operador Nacional do Sistema Elétrico* (ONS) to the INNOVATE project. In Figure 5, the probabilities for mean monthly outflows from reservoir Itaparica, located in the Sub-middle (*Submédio*) São Francisco river basin upstream of gauge Traipu, for the scenarios A2 and B1 (years 2021 – 2050) are shown. Probabilities for mean monthly outflows from reservoir Itaparica calculated from the data of ONS (time period from September 1989 to August 2014, and data gap from February 2002 to December 2003) are also shown. Additionally, the normal discharge target from reservoir Itaparica, approximately 2,000 m³/s and the



WATCH: simulation for historical period based on Integrated Project Water and Global Change (WATCH) climate data; HAD: simulation for historical period based on Global Circulation Models (GCM) Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3) climate data.

Figure 4 – Outflow from reservoir Três Marias and discharge at gauge Traipu (for location see Figure 2) in scenarios A2 and B1 (2021 – 2050).



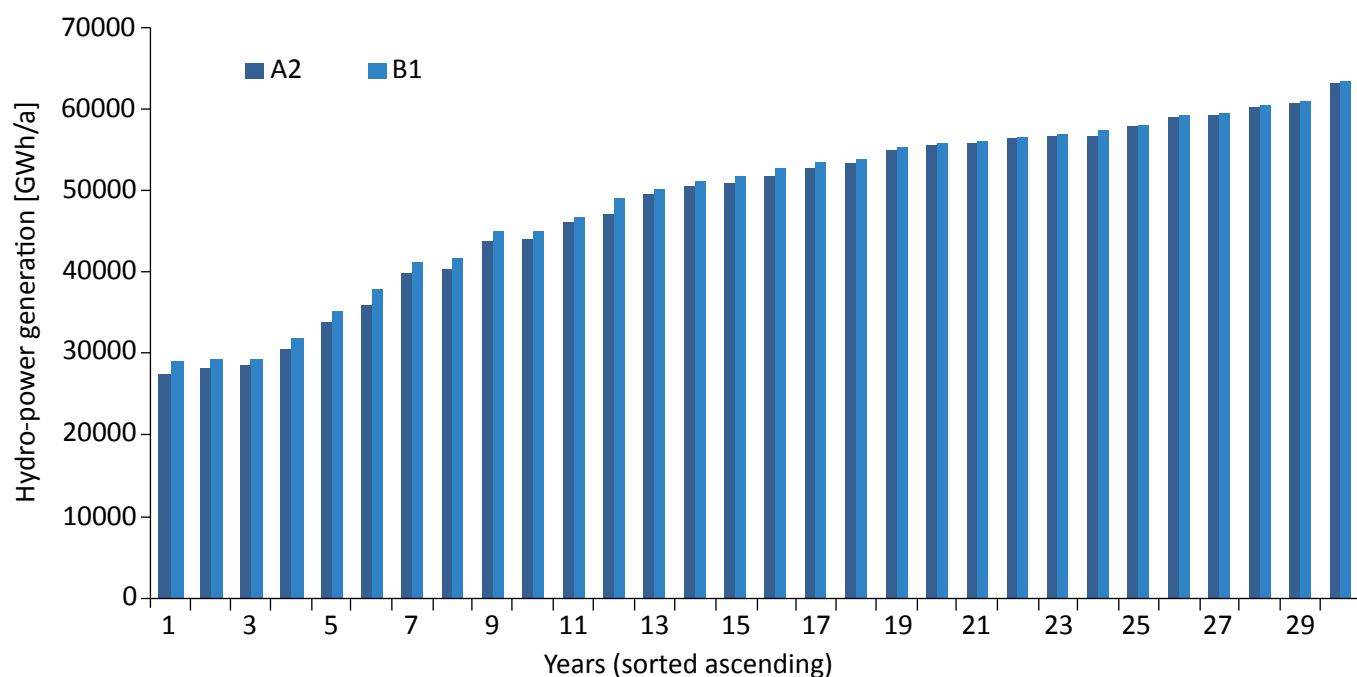
ONS: calculated from data of *Operador Nacional do Sistema Elétrico* (09/1989 to 08/2014); normal discharge target from reservoir Itaparica (2,000 m³/s) and the minimum target (1,300 m³/s); x-axis in logarithmic scale.

Figure 5 – Probability distribution for monthly outflow from reservoir Itaparica in scenarios A2 and B1 (2021 – 2050).

minimum target of 1,300 m³/s are given. From Figure 5 it can be deduced that mean discharges in the scenarios A2 and B1 are increasing because of much higher discharges in the rainy season. Discharges can decline markedly during the dry season.

The scenarios with changed climate and land-use affect also the hydropower generation in the São Francisco river basin. For the simulation of hydropower generation, the reservoirs Três Marias (installed capacity of 396 MW), Sobradinho (1,050 MW) and Itaparica (Luiz Gonzaga; 1,500 MW) are integrated into SWIM. Additionally, the large hydropower plants downstream of Itaparica reservoir: Moxotó (Apolônio Sales; installed capacity 400 MW), Paulo Afonso 1 (180 MW), Paulo Afonso 2 (445 MW), Paulo Afonso 3 (800 MW), Paulo Afonso 4 (2,460 MW), and Xingó (3,000 MW) are included (data according to ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a). For reasons of comparability it is assumed that over the whole simulation period all hydropower plants

are operating. The simulations for the historical period (years 1984 – 2003) based on WATCH climate data give a mean annual hydropower generation of 48,053 GWh/a, whereas the simulation for historical period (years 1984 – 2003) based on GCM HadCM3 climate data give 50,098 GWh/a. For the scenarios A2 and B1 the mean annual hydropower generation for the years 2021 – 2050 are 48,471 GWh/a and 49,257 GWh/a, respectively. The lowest and highest annual hydropower generation in scenario A2 are 27,417 GWh/a and 63,284 GWh/a, respectively. In scenario B1 it is 29,100 GWh/a and 63,501 GWh/a, respectively (Figure 6). The simulated mean monthly hydropower generation follows the discharge at gauge Traipu shown in Figure 4. During the rainy season, especially in the months of March and April, the hydropower generation is increasing, whereas in the dry season, starting in the month of May, hydropower generation is decreasing slightly, compared to the modeling results based on HadCM3 for the historical period.



Values sorted in ascending order of annual hydropower generation.

Figure 6 – Annual hydropower generation for years 2021 - 2050 in scenarios A2 and B1 for the São Francisco river basin.

CONCLUSIONS

In this study, two SRES scenarios were used: A2, depicting a regionalized world with slow economic development, high population growth, and little awareness of environmental problems, and B1, depicting a globalized world with low population growth, high GDP growth, and environmental sustainability. Socioeconomic changes are also leading to changes in land-use patterns. In the regionalized world with little environmental awareness (A2), cropland area in the São Francisco river basin almost doubles until 2035 compared to 2005 at the expense of natural vegetation, whereas in the environmentally friendly scenario B1, with large nature conservation areas, the size of the cropland area does not change. In both scenarios, the crop mix changes, in which irrigated sugar cane increases mainly because of increased demand and favorable conditions.

The simulations for the years 2021 – 2050 using the ecohydrological model SWIM for the São Francisco river basin, including the largest reservoirs and water users (agricultural irrigation), show a mean safety for irrigation water supply of 92% and 80% in scenarios A2

and B1, respectively. This means irrespectively of the socioeconomic setting, local conditions for agricultural irrigation are positive under the assumed climate conditions. In the month with the lowest water availability, only 43% and 23% of the demanded water can be supplied in scenarios A2 and B1, respectively. The simulated water availability for the two axes of the transposition project (Northern axis and Eastern axis) is high in general (Figure 3).

In both scenarios, there is a trend to wetter rainy seasons and drier dry seasons with an increase in annual mean discharges (A2 +6.6% and B1 +1.0% at gauge Triapu). Very high flows are increasing (Figure 5), but these flows are surpassing the maximum capacities of the hydropower plants and therefore cannot be used to generate more electricity. Overall, for hydropower generation a high bandwidth for annual generation is simulated. For the rainy season an increasing hydropower generation is simulated, whereas for the dry season hydropower generation is decreasing slightly. Compared to the reference (1984 – 2003), hydropower generation

is declining by 3.2% (A2) and 1.7% (B1). This decline is lower than given in Schaeffer *et al.* (2008) with -4.3% (SRES scenario A2) and -7.7% (B2). However, the results given by Schaeffer *et al.* (2008) are for the time period 2071 – 2100.

The climate scenarios based on the GCM HadCM3 used are rather wet (compare also simulated discharges using the WATCH climate data set and GCM HadCM3 for the historical period in Figure 4), whereas other GCMs, for example, MIROC, simulate a rather dry future. Therefore, the results given for irrigation water availability and hydropower generation should be seen as rather optimistic. Also the most recent drought in the São Francisco river basin, starting in the year 2012, points to the necessity to include rather dry cli-

mate scenarios in further impact studies. A strict observation of minimum discharge of 1,300 m³/s for the stretch between the reservoirs Sobradinho and Xingó is assumed in the simulations. It is known to the authors that since April 2013 the minimum discharge for the Sub-middle São Francisco river basin has been reduced to 1,100 m³/s (ANA, 2013), and in the year 2015 a further reduction to 900 m³/s was approved (ANA, 2015). However, the topic of this paper is the description of an approach on how to downscale global land-use scenarios to the São Francisco river basin using local information. In further simulation studies, the effects of changed legislation such as different settings for minimum discharges can be carried out. Furthermore, the management of the two axes of the transposition project is still under discussion and the results presented here can give only a first estimate.

REFERENCES

- ANA/GEF/PNUMA/OEA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY/PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE/ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. *Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF Nº 09 - Aproveitamento do Potencial Hidráulico para geração de energia elétrica*. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004a.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY/PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE/ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. *Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF Nº 12. AGRICULTURA IRRIGADA*. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004b.
- ANA/MMA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Conjuntura Recursos Hídricos Brasil*. Brasília: ANA, 2013.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Resolução nº 411, de 22 de setembro de 2005*. Brasília: ANA, 2005. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2005/411-2005](http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2005/411-2005.pdf)>.pdf. Acesso em: 07 mar. 2014.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Resolução nº 442, de 8 de abril de 2013*. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/442-2013](http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/442-2013.pdf)>.pdf. Acesso em: 02 jul. 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Resolução nº 713, de 29 de junho de 2015*. Brasília-DF, 2015. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2015/713-2015](http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2015/713-2015.pdf)>.pdf. Acesso em: 02 jul. 2015.
- ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M.; BERNHARDT, G. A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, v. 142, n. 1-4, p. 47-69, 1993.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. (Coords.). *Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira*. São Paulo: EMBRAPA/UNICAMP, 2008. 84p.
- BECK, F. *Modelling land-use change in the catchment area of the São Francisco River in Brazil*. 2013. Master thesis – Potsdam Institute for Climate Impact Research, Humboldt University, Berlin, 2013.

- BELLARBY, J.; WATTENBACH, M.; TUCK, G.; GLENDINING, M. J.; SMITH, P. The potential distribution of bioenergy crops in the UK under present and future climate. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 12, p. 1935-1945, 2010.
- BIEWALD, A.; ROLINSKI, S.; LOTZE-CAMPEN, H.; SCHMITZ, C.; DIETRICH, J. P. Valuing the Impact of Trade on Local Blue Water. *Ecological Economics*, v. 101, p. 43-53, 2014.
- BIRKEL, C.; TETZLAFF, D.; SOULSBY, C. Modelling the impacts of land-cover change on streamflow dynamics of a tropical rainforest headwater catchment. *Hydrological Sciences Journal*, v. 57, n. 8, p. 1543-1561, 2012.
- BONDEAU, A.; SMITH, P. C.; ZAEHLE, S.; SCHAPHOFF, S.; LUCHT, W.; CRAMER, W.; GERTEN, D.; LOTZE-CAMPEN, H.; MÜLLER, C.; REICHSTEIN, M.; SMITH, B. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, v. 13, n. 3, p. 679-706, 2007.
- BRAGA, B. P. F.; FLECHA, R.; PENA, D. S.; KELMAN, J. Pacto federativo e gestão de águas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 17-42, 2008.
- BRONSTERT, A.; KOLOKOTRONIS, V.; SCHWANDT, D.; STRAUB, H. Comparison and evaluation of regional climate scenarios for hydrological impact analysis: General scheme and application example. *International Journal of Climatology*, v. 27, n. 12, p. 1579-1594, 2007.
- CALDER, I. R. Hydrologic effects of land use change. In: MAIDMENT, D. R. (ed.) *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1992.
- CBHSF - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. *Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013) – Resumo Executivo*. Salvador: CBHSF, 2004. 337p.
- CHASE, T. N.; PIELKE, R. A.; KITTEL, T. G. F.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*, v. 16, n. 2, p. 93-105, 2000.
- CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA. *Plano diretor para o desenvolvimento do Vale do São Francisco - PLANVASF: Programa para o Desenvolvimento da Irrigação (1989-2000)*. Brasília: CODEVASF, 1989.
- CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA. *Elenco de projetos*. n.d. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos>. Acesso em: 29 jun. 2013.
- CONRADT, T.; KUNDZEWICZ, Z. W.; HATTERMANN, F. ; WECHSUNG, F. Measured effects of new lake surfaces on regional precipitation. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, n. 5, p. 936-955, 2007.
- DA CUNHA, D. A.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G. Irrigation as an adaptive strategy to climate change: an economic perspective on Brazilian agriculture. *Environment and Development Economics*, v. 20, n. 1, p. 57-79, 2015.
- DA SILVA, T. G. F.; DE MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. DE S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.
- DA SILVA, G. N. S.; DE MORAES, M. M. G. A.; DA SILVA, A. C. S. Delimitação das áreas irrigadas no trecho do sub-médio do rio São Francisco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Natal. *Anais...* Natal: ABRH, 2014.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.
- DEFRIES, R.; ESHLEMAN, N. K. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, n. 18, v. 11, p. 2183-2186, 2004.

- DELGADO, C. L. Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. *The Journal of Nutrition*, v. 133, n. 11, p. 3907S-3910S, 2003.
- DIETRICH, J. P.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H. Reducing the loss of information and gaining accuracy with clustering methods in a global land-use model. *Ecological Modelling*, v. 263, p. 233-43, 2013.
- DIETRICH, J. P.; SCHMITZ, C.; LOTZE-CAMPEN, H.; POPP, A.; MÜLLER, C. Forecasting technological change in agriculture—An endogenous implementation in a global land use model. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 81, p. 236-49, 2014.
- FADER, M.; GERTEN, D.; THAMMER, M.; HEINKE, J.; LOTZE-CAMPEN, H.; LUCHT, W.; CRAMER, W. Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 5, p. 1641-1660, 2011.
- FALKENMARK, M.; LUNDQVIST, J.; WIDSTRAND, C. Macro-Scale Water Scarcity Requires Micro-Scale Approaches. Aspects of Vulnerability in Semi-Arid Development. *Natural Resources Forum*, v. 13, n. 4, p. 258-267, 1989.
- FARIA, W. R. *Modelagem e avaliação de fenômenos relacionados ao uso da terra no Brasil*. Tese (PhD) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. 275p.
- FERRAZ, R. P. D.; Simões, M.; DUBREUIL, V. Avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canieira através do uso de indicadores extraídos de modelos espaciais. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 29, p. 63-75, 2013.
- FOHRER, N.; HAVERKAMP, S.; ECKHARDT, K.; FREDE, H. G. Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, v. 26, n. 7-8, p. 577-582, 2001.
- FRIEDL, M. A.; SULLA-MENASHE, D.; TAN, B.; SCHNEIDER, A.; RAMANKUTTY, N.; SIBLEY, A.; HUANG, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 1, p. 168-182, 2010.
- GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.
- GRAFTON, R. Q.; HUSSEY, K. (eds.). *Water Resources Planning and Management*. 1th edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- HABERL, H.; ERB, K.-H.; KRAUSMANN, F.; BONDEAU, A.; LAUK, C.; MÜLLER, C.; PLUTZAR, C.; STEINBERGER, J. K. Global bioenergy potentials from agricultural land in 2050: Sensitivity to climate change, diets and yields. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 12, p. 4753-4769, 2011.
- HANASAKI, N.; INUSUKA, T.; KANAE, S.; OKI, T. An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model. *Journal of Hydrology*, v. 384, n. 3-4, p. 232-244, 2010.
- HATTERMANN, F.F.; WEILAND, M.; HUANG, S.; KRYSANOVA, V.; KUNDZEWICZ, Z.W. Model-supported impact assessment for the water sector in Central Germany under climate change – a case study. *Water Resources Management*, v. 25, n. 13, p. 3113-3134, 2011.
- HEMPEL, S.; FRIELER, K.; WARSZAWSKI, L.; SCHEWE, J.; PIONTEK, F. A trend-preserving bias correction - the ISI-MIP Approach. *Earth System Dynamics*, V. 4, n. 2, p. 219-236, 2013.
- HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A.K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, v. 21, n. 1, p. 35-48, 2007.
- HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P. Q. *Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade*. The Netherlands: UNESCO-IHE, 2002. 120 p. (Value of Water Research Series nº 11)

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Statistical data of the Brazilian Institute of Geography and Statistics*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/webcart/>>. Acesso em: 23 sep. 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Potencial agrícola*. Disponível em: <http://mapasinterativos.ibge.gov.br/arcgis/rest/services/AGRICOLA/MapServer>. Acesso em: 21 nov. 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Climas*. n.d. Disponível em: <http://mapasinterativos.ibge.gov.br/arcgis/rest/services/CLIMAS/MapServer>. Acesso em: 21 nov. 2011.

KRAUSE, M.; LOTZE-CAMPEN, H.; POPP, A.; DIETRICH, J. P.; BONDSCH, M. Conservation of undisturbed natural forests and economic impacts on agriculture. *Land-use Policy*, v. 30, n. 1, p. 344-354, 2013.

KRYSANOVA, V.; MEINER, A.; ROOSAARE, J.; VASILYEV, A. Simulation modelling of the coastal waters pollution from agricultural watershed. *Ecological Modelling*, v. 49, n. 1-2, p. 7-29, 1989.

KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D. I.; BECKER, A. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecological Modelling*, v. 106, n. 2-3, p. 261-289, 1998.

KRYSANOVA, V.; WECHSUNG, F.; ARNOLD, J.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. *SWIM (Soil and Water Integrated Model) User Manual. PIK Report 69*. Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2000. 243p.

LÁZARO, Y. M. C.; DA SILVA SILVEIRA, C.; DE SOUZA FILHO, F. DE A.; LEMOS, W. E. D. Projeções de precipitação para o século XXI utilizando sistema de classificação hierárquica de modelos: aplicação para o nordeste setentrional brasileiro. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 32, p. 1-11, 2014.

LAHMER, W.; PFÜTZNER, B.; BECKER, A. Assessment of land-use and climate change impacts on the mesoscale. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, v. 26, n. 7-8, p. 565-575, 2001.

LERNER, G. L. S.; CARPIO, L. G. T. Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em rede Acquanet. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 38., 2006, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2006. p. 533-544.

LOTZE-CAMPEN, H.; MUELLER, C.; BONDEAU, A.; ROST, S.; POPP, A.; LUCHT, W. Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, v. 39, n. 3, p. 325-338, 2008.

MANETA, M. P.; TORRES, M.; WALLENDER, W. W.; VOSTI, S.; KIRBY, M.; BASSOI, L. H.; RODRIGUES, L. N. Water demand and flows in the São Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 8, p. 1191-1200, 2009.

MARTINS, S. R.; SCHLINDWEIN, S. L.; D'AGOSTINI, L. R.; BONATTI, M.; DE VASCONCELOS, A. C. F.; HOFFMAN, A. F.; FANTINI, A.C. Mudanças climáticas e vulnerabilidade na agricultura: desafios para desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 17, p. 17-27, 2010.

MASSAGARDI, M. A.; FERNANDES, V.; DE VASCONCELOS, E. C.; JANISSEK, P. Análise crítica do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDEE 2021 - Questões socioeconômicas e ambientais decorrentes das estratégias brasileiras para o etanol combustível. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 29, p. 139-151, 2013.

MEDEIROS, Y. D. P.; FREITAS, I. M. P.; STIFELMAN, G. M.; FREIRE, R. R.; O'KEEFFE, J. Social participation in the environmental flow assessment: the são francisco river case study. *Gesta - Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1, n. 1, p. 122-130, 2013.

- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *uso_baixosf*. 2002. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *uso_smsf*. 2000. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Terras para irrigação*. n.d. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 12 mar. 2014.
- MONTENEGRO, A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a modelling study. *Hydrological Processes*, v. 24, n. 19, p. 2705-2723, 2010.
- MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 434-435, p. 55-68, 2012.
- MÖLDERS, N. Similarity of microclimate as simulated in response to landscapes of the 1930s and the 1980s. *Journal of Hydrometeorology*, v. 1, n. 4, p. 330-352, 2000.
- MOSCRIP, A. L.; MONTGOMERY, D. R. Urbanization, flood frequency, and salmon abundance in Puget Lowland streams. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 33, n. 6, p. 1289-1297, 1997.
- NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (eds.). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- NARAYANAN, B.; WALMSLEY, T. (eds.). *Global Trade, Assistance. and Production: The GTAP 7 Data Base*. Indiana: Center for Global Trade Analysis - Purdue University, 2008.
- OKI, T.; KANAE, S. Virtual water trade and world water resources. *Water Science and Technology*, v. 49, n. 7, p. 203-209, 2004.
- PIELKE, R. A. S. Land use and Climate Change. *Science*, v. 310, n. 5754, p. 1625-1626, 2005.
- PINGALI, P. Westernization of Asian diets and the transformation of food systems: Implications for research and policy. *Food Policy*, v. 32, n. 3, p. 281-298, 2007.
- ROSEGRANT, M. W. & CLINE, S. A. Global Food Security: Challenges and Policies. *Science*, v. 302, n. 5652, p. 1917-1919, 2003.
- RÖTTER, R.; VAN DE GEIJN, S. C. Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock. *Climatic Change*, v. 43, n. 4, p.651-681, 1999.
- ROUNSEVELL, M.; REAY, D. S. Land use and climate change in the UK. *Land use Policy*, v. 26, S160-S169, 2009.
- SAHIN, V.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*, v. 178, n. 1-4, p. 293-309, 1996.
- SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; DE LUCENA, A. F. P.; DE SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; DA COSTA, I. V. L.; JÚNIOR, A. O. P.; DA CUNHA, S. H. F. *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Brasileira, 2008. 35p.
- SEIBERT, J.; MCDONNELL, J. J. Land-cover impacts on streamflow: a change-detection modelling approach that incorporates parameter uncertainty. *Hydrological Sciences Journal*, v. 55, n. 3, p. 316-332, 2010.
- SIEGMUND-SCHULTZE, M; KÖPPEL, J; DO CARMO SOBRAL, M. Balancing ecosystem services and societal demands in a highly managed watershed: Setup and progress of a comprehensive research project. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 36, p. 1-15, 2015.

SILVA, M. DE A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. DE L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

TUCK, G.; GLENDINING, M. J.; SMITH, P.; HOUSE, J. I.; WATTENBACH, M. The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n. 3, p. 183-197, 2006.

VALIN, H.; SANDS, R. D.; VAN DER MENSBRUGGHE, D.; NELSON, G. C.; AHAMMAD, H.; BLANC, E.; BODIRSKY, B.; FUJIMORI, S.; HASEGAWA, T.; HAVLIK, P.; HEYHOE, E.; KYLE, P.; MASON-D'CROZ, D.; PALTSEV, S.; ROLINSKI, S.; TABEAU, A.; VAN MEIJL, H.; VON LAMPE, M.; WILLENBOCKEL, D. The future of food demand: understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics*. v. 45, p. 51-67, 2014.

VORÖSMARTY, C. J.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R. B. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, v. 289, n. 5477, p. 284-88, 2000.

WEEDON, G. P.; GOMES, S.; VITERBO, P.; SHUTTLEWORTH, W. J.; BLYTH, E.; ÖSTERLE, H.; ADAM, J. C.; BELLOUIN, N.; BOUCHER, O.; BEST, M. Creation of the WATCH Forcing Data and Its Use to Assess Global and Regional Reference Crop Evaporation over Land during the Twentieth Century. *Journal of Hydrometeorology*, v. 12, n. 5, p. 823-848, 2011.

WENKEL, K. O.; BERG, M.; MIRSCHEL, W.; WIELAND, R.; NENDEL, C.; KÖSTNER, B. LandCaRe DSS - An interactive decision support system for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies. *Journal of Environmental Management*, v. 127, Supplement, p. S168-S183, 2013.

ANÁLISE CLIMÁTICA DA PRECIPITAÇÃO NO SUBMÉDIO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO COM BASE NO ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

CLIMATE ANALYSIS OF THE RAINFALL ON SUB-MEDIUM PART OF THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN BASED ON THE RAIN ANOMALY INDEX

**Janaina Maria
Oliveira de Assis**

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brasil.

Werônica Meira de Souza

Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema) na UFPE – Garanhuns (PE), Brasil.

Maria do Carmo Sobral

Professora do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da UFPE e do Prodema/UFPE – Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência:

Janaina Maria Oliveira de Assis – Rua Ares, 487, – Pau Amarelo – 53429-560 – Recife (PE), Brasil.
E-mail: jmoassis@gmail.com

RESUMO

O semiárido do Nordeste do Brasil é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças do clima, sendo necessárias ferramentas para o monitoramento dos períodos seco e chuvoso na região, pois auxiliam na gestão dos recursos hídricos, como abastecimento das cidades e projetos de irrigação. Assim, este trabalho teve como objetivos analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação climática e caracterizar os períodos seco e úmido no trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Foram utilizados totais anuais de precipitação de 36 postos pluviométricos espacialmente distribuídos na área de estudo, no período de 1964 a 2014, fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizou-se a técnica do índice de anomalia de chuva (IAC) para determinar os períodos seco e úmido. Pode-se observar a variação de anos seco e chuvoso na região ao longo do período estudado, assim como sua intensidade. Os resultados mostraram tendência de diminuição dos totais pluviométricos, que se tornou mais frequente a partir da década de 1980, caracterizando um ponto de inversão entre a primeira e a segunda metade da série histórica, predominando os anos secos.

Palavras-chave: clima; extremos climáticos; semiárido.

ABSTRACT

The semi-arid Northeast Brazil is one of the most vulnerable regions to climate changes, being necessary tools for monitoring the dry and rainy seasons in the region, as aid in the management of water resources, as supply of cities and irrigation projects. This work aimed to analyze the space-temporal variability of climate rainfall and characterize the dry and wet periods in the lower-middle stretch of the São Francisco River basin. Total annual precipitation of 36 stations spatially distributed rainfall in the study area was used during the period from 1964 to 2014, provided by Pernambuco Agency for Waters and Climate and the National Water Agency. We used the technique of rain anomaly index (IAC) to determine the dry and wet periods. It's possible to observe the variation of dry and wet years in the region over the study period, as well as its intensity. The results showed a downward trend in rainfall totals, which became more frequent from the 1980s, featuring a turning point between the first and second half of the series, predominantly dry years.

Keywords: climate; climatic extreme; semiarid.

INTRODUÇÃO

As mudanças do clima têm intensificado cada vez mais a problemática da escassez hídrica, sobretudo em áreas áridas e semiáridas do planeta. A região semiárida do Nordeste do Brasil encontra-se inserida nesse contexto, uma vez que apresenta grande tendência à aridização, acompanhada de diminuição da oferta hídrica em função da alteração nos padrões pluviométricos, com diminuição da frequência e da intensidade das chuvas.

Diante da problemática da escassez hídrica, o monitoramento de períodos seco e chuvoso e da variabilidade espaçotemporal da precipitação no Nordeste brasileiro é de grande importância, por conta principalmente da existência de inúmeros projetos de irrigação e do abastecimento de água das grandes cidades. Vale ressaltar que a maioria das culturas agrícolas depende exclusivamente da regularidade das chuvas, e a possibilidade de água subterrânea é pequena quando comparada à da água superficial (FREITAS, 1998).

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), as projeções futuras associadas aos impactos das mudanças climáticas apontam para o aumento da frequência dos eventos extremos nessas regiões, provocando secas mais prolongadas. Reforçando essa afirmação, pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) desenvolveram modelos regionais para cenários futuros, com maior resolução espacial. Tais modelos sugerem que a temperatura poderá aumentar, em função do cenário, de 1,5 a 2,5°C e em até 3 a 5,5°C até o fim do século XXI. Com o aquecimento, haverá aumento na evaporação e diminuição da disponibilidade hídrica (LIMA *et al.*, 2011).

Conforme o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013), as mudanças do clima e a consequente alteração do ciclo hidrológico evidenciam-se não apenas nos padrões pluviométricos, como também nas taxas de recarga de águas subterrâneas. Do mesmo modo, a elevação de temperatura tem efeito significativo no aumento da evaporação, o que poderá prejudicar a eficiência de armazenamento nos reservatórios superficiais.

Em estudo recente, Assis *et al.* (2012) identificaram tendência média de diminuição para a precipitação e aumento do número de dias secos consecutivos em bacias hidrográficas do semiárido de Pernambuco,

por meio de metodologia recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Do mesmo modo, o IV Relatório do IPCC (IPCC, 2007) demonstra que, em média, na maioria dos modelos existe maior probabilidade de redução das chuvas no Nordeste brasileiro, como consequência das mudanças climáticas globais. As projeções apresentadas no Relatório do Clima do Inpe (CPTEC/INPE, 2007) mostram que, pelo fato de praticamente todos os modelos convergirem numa situação de clima mais seco, se consideram essas projeções como um grau de certeza grande.

Levando em conta o modelo do Centro Climático Britânico, o HadCM3, e o cenário pessimista, relata-se tendência de extensão da deficiência hídrica para a região Nordeste do Brasil, particularmente para a região semiárida, que sofre forte tendência de aridização até o fim do século XXI.

Um importante registro de escassez hídrica na região semiárida nordestina é observado na situação crítica de armazenamento de água dos reservatórios de Sobradinho e Itaparica, localizado no Rio São Francisco, que se encontram operando com menos de 30% da capacidade (ONS, 2012). Essa situação de escassez hídrica no Rio São Francisco tem provocado conflitos entre os múltiplos usos, particularmente em relação à redução da vazão à jusante dos reservatórios, que tem contribuído para a diminuição da qualidade da água nesse corpo hídrico.

O índice de anomalia de chuva (IAC) é uma metodologia que vem sendo aplicada e difundida no Nordeste do país para caracterizar os períodos extremos (seco e chuvoso), assim como as diferentes intensidades desses eventos no tempo e no espaço. Um ponto crucial no emprego de um índice como tal, assim como de qualquer outro índice climático, reside na escolha do patamar a ser estabelecido para a definição de um período de seca. Nesse sentido, Freitas (1998; 2004) observou que com base nesse índice é possível fazer a comparação das condições atuais de precipitação quanto aos valores históricos, servindo ainda para avaliar a distribuição espacial do evento, consoante a sua intensidade.

O monitoramento de períodos de seca ou períodos chuvosos é particularmente útil, uma vez que auxilia na gestão dos recursos hídricos, como abastecimento de água de grandes cidades e projetos de irrigação, por exemplo.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivos investigar, por intermédio de séries temporais de precipitação, como se dá a variabilidade espaço-temporal das

chuvas no trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco e caracterizar os períodos seco e chuvoso, além de sua intensidade, fundamentado no IAC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Este artigo teve como objeto de estudo o trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco localizado na porção semiárida do Nordeste brasileiro, no oeste do estado de Pernambuco e norte da Bahia,

entre os meridianos 43°W e 37°W e paralelos 7°S e 12°S. Compreende uma área de aproximadamente 122 mil km², abrangendo municípios de dois estados nordestinos do país (Figura 1). A região é composta pe-

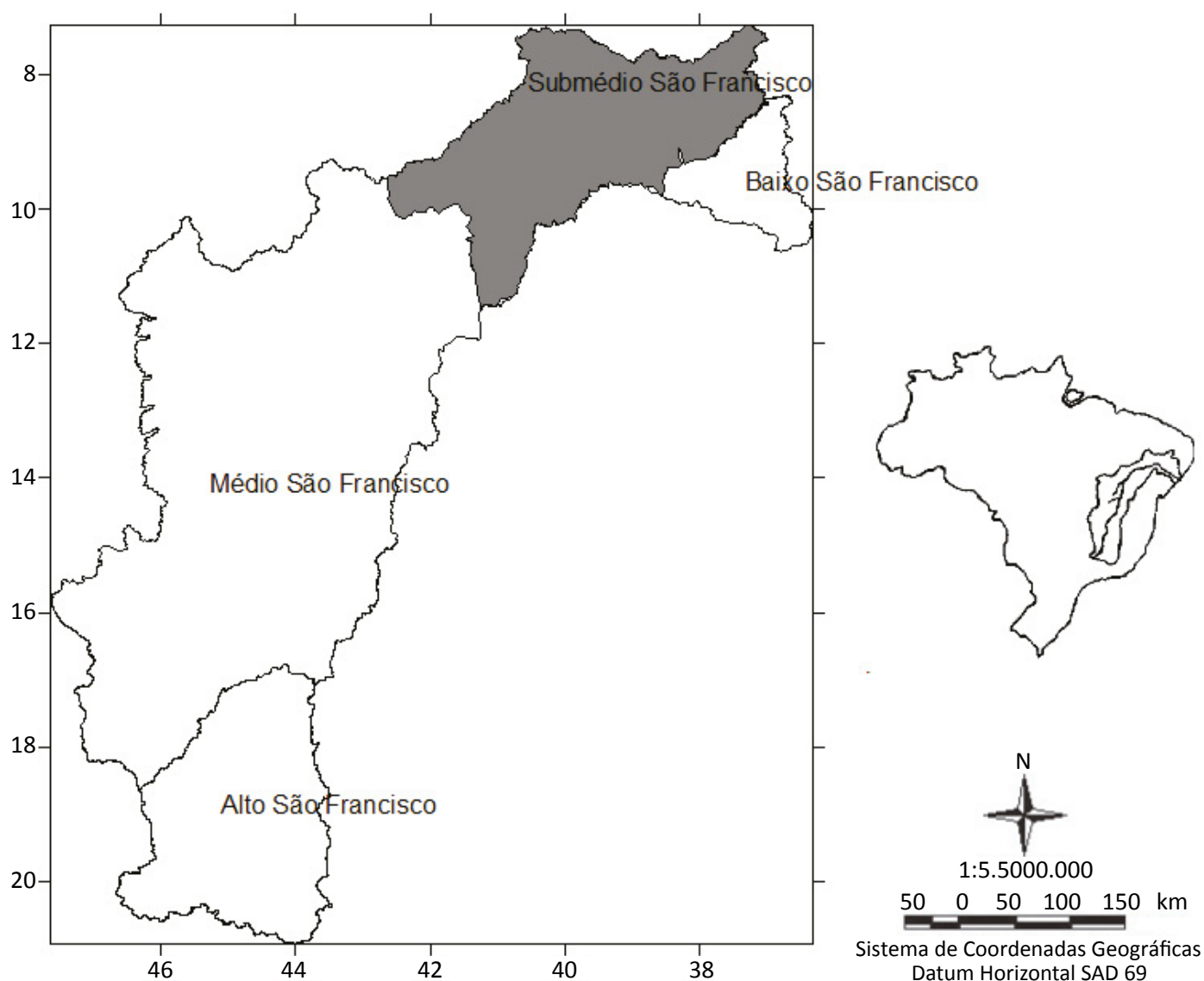


Figura 1 – Localização espacial do trecho submédio do Rio São Francisco.

las sub-bacias dos rios Pontal, Garças, Brígida, Pajeú, Moxotó e Xingó, pela margem esquerda. À margem direita, ficam as sub-bacias de Tourão, Salgado, Vargem, Curaçá, Macuru e Poço Comprido (EMBRAPA, 2009).

O submédio São Francisco engloba toda a mesorregião do Sertão de Pernambuco e grande parte da mesorregião do Agreste. Na parte situada no estado pernambucano, está limitado na porção leste com o trecho baixo da bacia do São Francisco. Já na parte localizada na Bahia, o submédio São Francisco abrange grande parte da mesorregião do Vale do São Francisco e pequena parcela do Centro-Norte, limitando-se ao sul com o trecho médio da bacia do São Francisco, no município de Remanso (BA). No total, o submédio São Francisco envolve 83 municípios, sendo 59 em Pernambuco e 24 na Bahia.

Do ponto de vista climático, a área do submédio São Francisco é caracterizada pela grande irregularidade das precipitações pluviométricas e apresenta como principal período chuvoso os meses de janei-

Dados pluviométricos

Utilizaram-se nesta pesquisa os totais anuais de precipitação de 36 postos pluviométricos localizados no trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, compreendendo o período de 1964 a 2014. Esses dados foram obtidos na Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac), mediante o banco de dados *online* disponível

Índice de anomalia de chuva

Para caracterizar os anos extremos secos e chuvosos no submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, utilizou-se o IAC, que analisa a frequência em que ocorrem anos secos e anos chuvosos e a intensidade do evento. Com base na metodologia de Rooy (1965), adaptada para o Nordeste do Brasil por Freitas (2004), avaliou-se a variabilidade climática por intermédio da confecção dos índices climáticos espacializados no tempo e no espaço, detectando períodos considerados extremamente úmidos ou secos.

A avaliação do grau de severidade e duração dos períodos secos e úmidos foi realizada pelo cálculo do IAC (FREITAS, 1998; 2004), obtido mediante as Equações 1 e 2:

$$IAC = 3 \frac{(N - \bar{N})}{(M' - \bar{N})}, \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

ro a abril. As chuvas que ocorrem no Sertão têm sua origem nas frentes frias, nos vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS) e na zona de convergência intertropical (ZCIT). O início da pré-estação chuvosa ocorre em dezembro (extremo oeste) e está associado às instabilidades das frentes frias e aos VCAS, que atuam sobretudo nos meses de janeiro e fevereiro. A partir de fevereiro ou março, dependendo do ano, a ZCIT começa em todo o Sertão, que já se encontra em seu principal período chuvoso (SECTMA, 2006).

Os totais pluviométricos anuais oscilam, em média, entre 300 e 1.200 mm, com maiores valores observados no Alto Sertão pernambucano, com valores acima de 600 mm, e os menores no Sertão de São Francisco em Pernambuco e na Bahia, com totais entre 300 e 600 mm, em média. Na área de estudo a estação seca pode se prolongar por 7 a 10 meses. A semiaridez é bem acentuada na parte mais baixa, próxima ao Rio São Francisco, que apresenta o maior número de anos consecutivos secos, com precipitações abaixo do esperado.

no endereço <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>, e na Agência Nacional de Águas (ANA), em seu sistema de informações hidrológicas chamado de HidroWeb, pelo endereço eletrônico <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos postos pluviométricos usados.

$$IAC = -3 \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})}, \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

Em que:

IAC = índice de anomalia de chuva;

\underline{N} = precipitação anual (mm);

\bar{N} = precipitação média anual da série histórica (mm);

M' = média das 10 maiores precipitações anuais da série histórica (mm);

\bar{X} = média das 10 menores precipitações anuais da série histórica (mm).

Anomalias positivas são valores acima da média histórica de precipitação, e anomalias negativas,

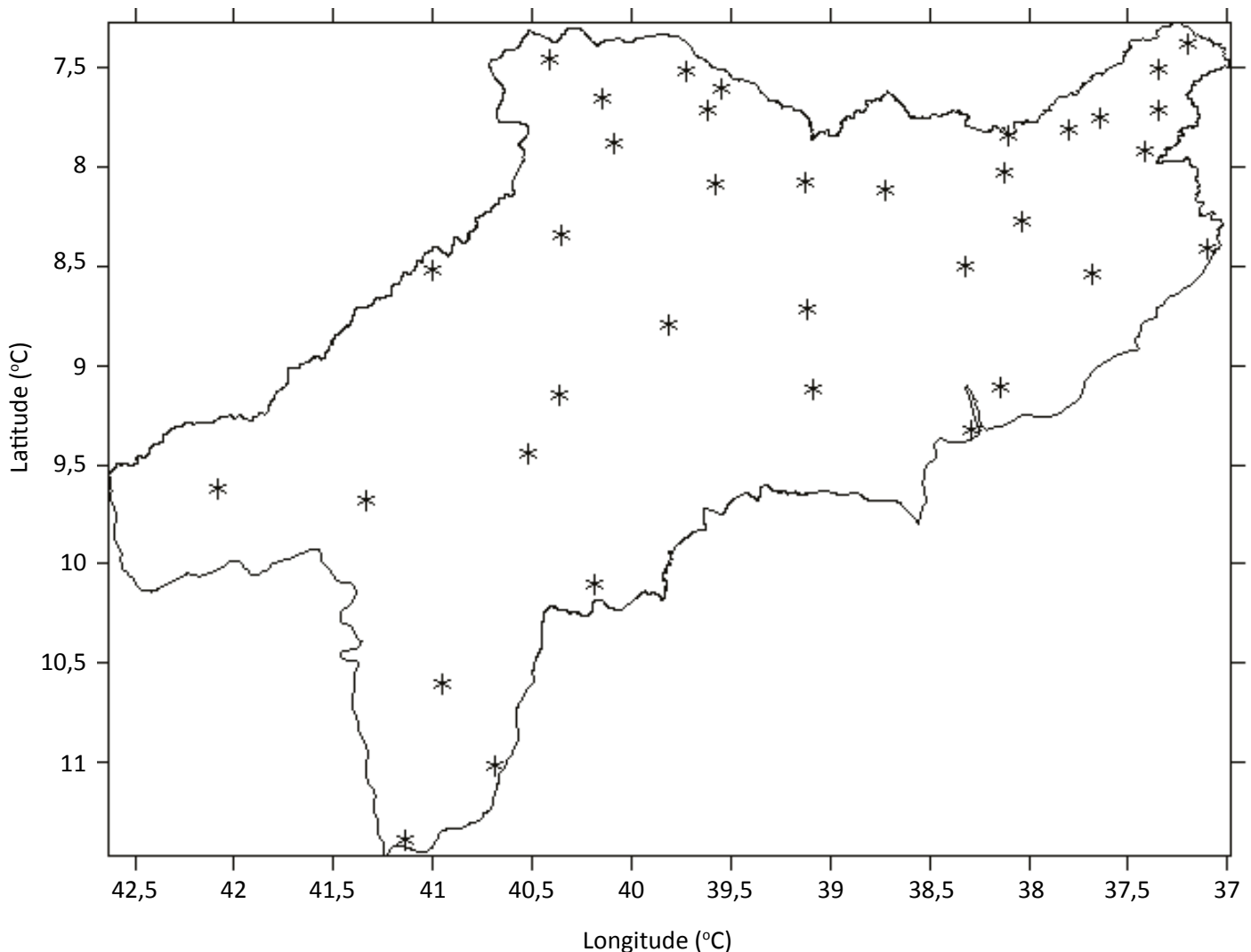


Figura 2 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos no submédio do Rio São Francisco.

valores abaixo de tal média histórica. Aplicando a metodologia proposta por Freitas (1998; 2004) e Araújo *et al.* (2007), foi utilizada a classificação

de anos secos e úmidos como indicador climático para a intensidade dessas anomalias, conforme mostra a Tabela 1.

RESULTADOS

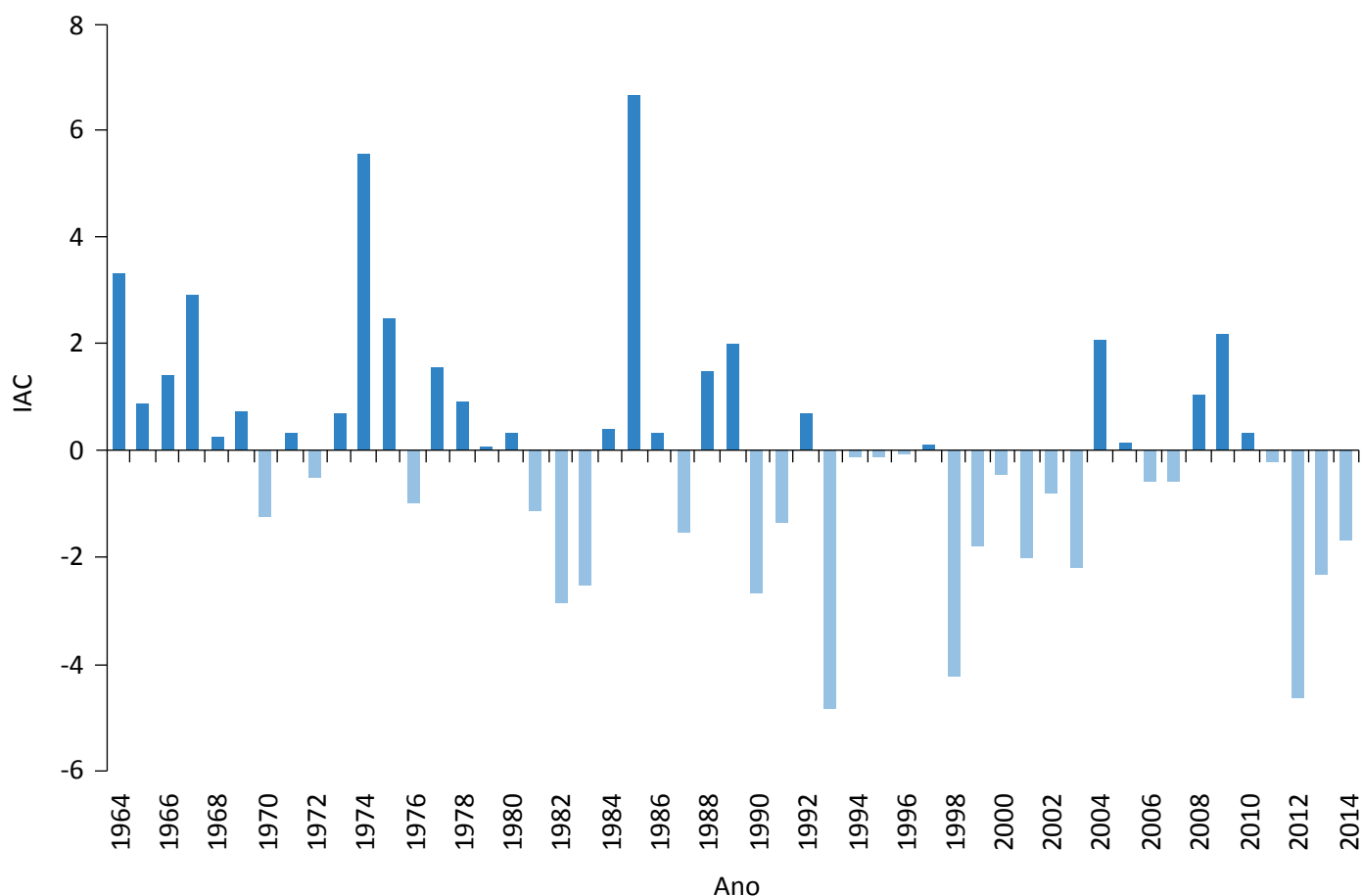
A utilização do IAC permitiu identificar mudanças nos padrões de comportamento da precipitação, além de avaliar a sua distribuição espacial. Com o cálculo e a aplicação desse índice, foi possível determinar a severidade dos ciclos seco e chuvoso no trecho do submédio da bacia do São Francisco. Dessa forma, puderam-se observar valores de IAC positivos, significando que o ano foi chuvoso (úmido). Do mesmo modo, os valores de IAC negativos representam os anos secos. Nos dois casos a classificação se estende desde anos chuvosos ou secos a extremamente

chuvosos ou secos. A Figura 3 mostra o IAC nos anos de 1964 a 2014.

Foram observadas algumas distinções no IAC do submédio São Francisco no decorrer do tempo. Até a década de 1980, os valores positivos ocorreram em maior número, com a alternância de apenas dois valores negativos. A partir dessa década, houve modificação na variação da precipitação, e os anos secos ficaram mais evidentes, mostrando possível variação climática

Tabela 1 – Classes de intensidade do índice de anomalia de chuva (IAC), de Freitas (2004; 2005).

Índice de anomalia de chuva (IAC)	Faixa do IAC	Classe de intensidade
	Acima de 4	Extremamente úmido
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito seco
	Abaixo de -4	Extremamente seco



IAC: índice de anomalia de chuva.

Figura 3 – Índice de anomalia de chuva no submédio São Francisco.

no padrão da precipitação nessa região. Essa variação tornou-se mais nítida nos anos 1990 em diante, quando se verificou que de 1990 a 2000 aconteceram apenas anos secos, sem nenhum índice positivo ou ano úmido/chuvoso.

Entre os anos secos dos anos 1990, quatro deles classificaram-se entre muito seco e extremamente seco, mostrando que tal década foi bastante seca em toda a área de estudo. De acordo com o CPTEC/Inpe (2007), a década de 1991–2000 foi uma das mais secas já re-

gistradas no Nordeste do Brasil. O fenômeno *El Niño* deu-se duas vezes de forma intensa nos anos de 1990–1993 e 1997–1998. Segundo Marengo (2007), essas estiagens tiveram repercussão adversa na geração de energia elétrica (redução), no nível de reservatórios e no aumento da demanda da energia termelétrica, além da elevação do número de queimadas durante o período seco.

Após esse período de modificação no padrão da precipitação da região, os valores positivos voltaram a alternar-se com os valores negativos, porém em menor evidência. A partir da década de 2000, ocorreram quatro anos úmidos, mas com a classe de intensidade de acordo com a normalidade, sem apresentar anos muito ou extremamente úmidos. Comparando-se todo o período analisado, verificou-se que houve mais anos secos do que chuvosos, somando-se três eventos extremos no período seco e dois eventos extremos em período chuvoso. Os eventos extremos em período úmido deram-se nas décadas de 1970 e 1980, e os eventos extremos em anos secos, nos anos 1990 e 2010, conforme mostra a Figura 3.

Vale ressaltar que na primeira metade da série histórica estudada aconteceram apenas eventos extremos em período úmido e na segunda metade somente eventos extremos em período seco. Os eventos extremos citados compreendem os anos que foram classificados entre muito secos ou extremamente secos e muito úmidos ou extremamente úmidos.

Assis *et al.* (2013) encontraram resultados semelhantes para a bacia do Rio Pajeú, Sertão de Pernambuco, em análise dos anos de 1960 a 2012, quando o IAC foi predominantemente negativo a partir da década de 1980. Araújo *et al.* (2009), em análise da bacia do Rio Paraíba, no semiárido paraibano, no período de 1910 a 2003, expuseram a grande variabilidade do IAC, com grande alternância entre anos secos e anos úmidos, porém com períodos distintos de predominância de anos secos a partir das décadas de 1980 e 90, apresentando os maiores eventos extremos nos anos secos, em 1993 e 1998. Sanches *et al.* (2014), em estudo sobre o IAC para o município de Alegrete (RS) no período de 1928 a 2009, fizeram uma comparação entre os índices, tanto positivos quanto negativos, e os anos sob ação dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*. Comparando-se os anos sob influência desses fenômenos com os valores

do IAC, verificou-se que houve maior correspondência com os anos sob efeito de *El Niño*.

Após a análise temporal do IAC, os cinco eventos extremos que ocorreram em toda a série estudada foram analisados separadamente, com o intuito de estabelecer a variabilidade espacial da precipitação, a intensidade desses eventos e sua área de abrangência tanto positiva quanto negativa. Foram selecionados cinco anos que seguem a classificação de intensidade do IAC, sendo dois anos chuvosos, na primeira metade da série de dados (1974 e 1985) e três anos secos, na segunda metade da série de dados (1993, 1998 e 2012).

A Figura 4 ilustra o ano chuvoso de 1974, o qual obteve o segundo maior IAC positivo. Esse ano classificou-se como um ano úmido/chuvoso em toda a região do submédio São Francisco, intercalando entre anos úmidos e extremamente úmidos, prevalecendo o segundo. Esses valores positivos de IAC são explicados pela atuação do fenômeno *La Niña* de forte intensidade, que teve grande atuação no Nordeste do Brasil entre os anos de 1973 e 1975, que contribuiu para que 1974 obtivesse o maior total pluviométrico em relação aos demais anos.

Apesar de haver predominância na área de estudo de que o ano de 1974 foi de evento extremo de chuva, teve-se exceção na região do Araripe, localizada mais ao norte do submédio. Ela foi a área em que se percebeu menor intensidade das chuvas em 1974. O município de Ouricuri, em Pernambuco, foi o único que apresentou IAC negativo, classificando-se como ano seco. No entorno da referida cidade se encontraram índices que se estabeleceram entre úmidos e muito úmidos. No restante do submédio, no trecho de Pernambuco, a predominância foi de índices classificados entre muito úmidos ou extremamente úmidos, o que caracteriza 1974 como um ano de evento extremo de chuva nessa região.

No sudoeste do submédio São Francisco, no município de Remanso, na Bahia, também foi registrada menor intensidade da chuva em 1974, porém com IAC positivo, sendo este classificado como úmido ou muito úmido. No restante do submédio São Francisco, no trecho da Bahia, houve predominância de IAC classificados entre muito úmidos e extremamente úmidos, determinando 1974 como um ano de evento extremo de chuva.

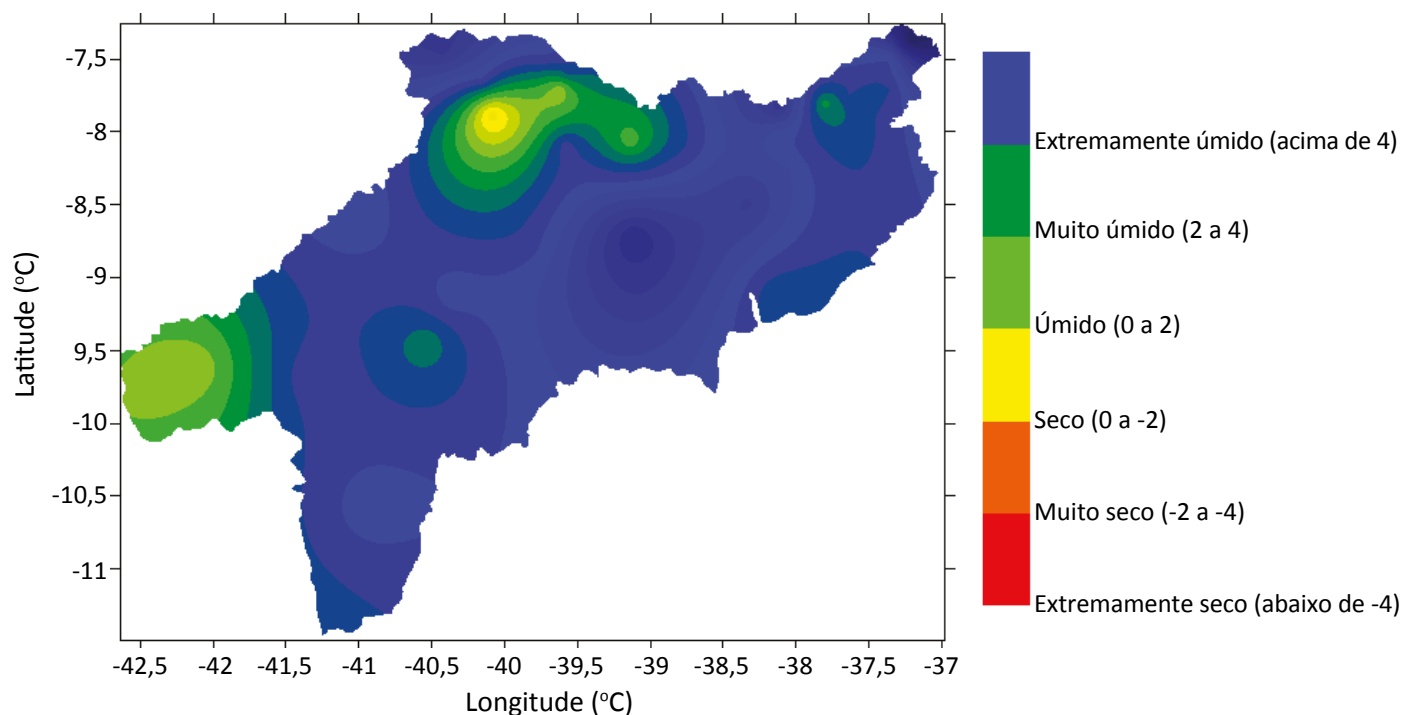


Figura 4 – Classificação do índice de anomalia de chuva (IAC) do submédio São Francisco, para o ano de 1974.

A Figura 5 mostra o ano de 1985 como intensamente chuvoso no trecho submédio da bacia do São Francisco. Esse ano apresentou o maior IAC de toda a série de dados estudada. No Sertão de Araripina, em Pernambuco, no ano citado, a classificação do IAC prevaleceu como extremamente úmido, com exceção apenas do município de Ouricuri, que foi considerado pelo IAC como ano muito úmido. Na mesorregião do Pajeú e Moxotó, em Pernambuco, foi unânime a classificação do IAC como ano extremamente úmido.

No Vale do São Francisco, tanto em Pernambuco como na Bahia, ocorreu classificação do IAC como seco, nos municípios de Jacobina e Morro do Chapéu, ambos no estado baiano, e úmido, na cidade de Tacaratu (PE). Nos demais municípios o IAC foi qualificado como extremamente úmido, o que classifica o ano de 1985 como intensamente chuvoso.

Esses valores positivos de IAC justificam-se em função da atuação do fenômeno *La Niña*, do mesmo modo que o ano de 1974. Entretanto, de acordo com a ocorrência e classificação desse evento (CPTEC/INPE, 2015), em 1985 se deu um *La Niña* de intensidade fraca, que atuou no Nordeste do Brasil nos anos de 1984 e 1985, porém, apesar de se classificar como um fenô-

meno fraco, de baixa magnitude, contribuiu para o aumento da precipitação nessa região nordestina do país.

A Figura 6 traz o ano de 1993, que se classificou como o ano mais seco de toda a série histórica analisada (1964–2014) e apresentou, conseqüentemente, o maior IAC negativo entre todos os anos secos estudados. Conforme se observou, ficou evidente que a maior área da sub-bacia do submédio São Francisco se enquadra como um ano extremamente seco.

No centro-sul do submédio São Francisco, entre Pernambuco e Bahia, e na região mais a oeste, em Pernambuco, houve IAC considerado entre muito seco e extremamente seco. Do mesmo modo, ao sul da sub-bacia, no município de Morro do Chapéu, houve a ocorrência de IAC classificado como muito seco.

No restante do submédio predominou o IAC classificado como extremamente seco, e não se teve nenhum registro de ano úmido/chuvoso, de acordo com a intensidade do IAC. Isso caracteriza que 1993 foi um ano de grande seca na região de estudo, o que se confirma por meio do *El Niño* de intensidade forte, que atuou nos anos de 1990 a 1993, acarretando a diminuição dos índices pluviométricos na Região

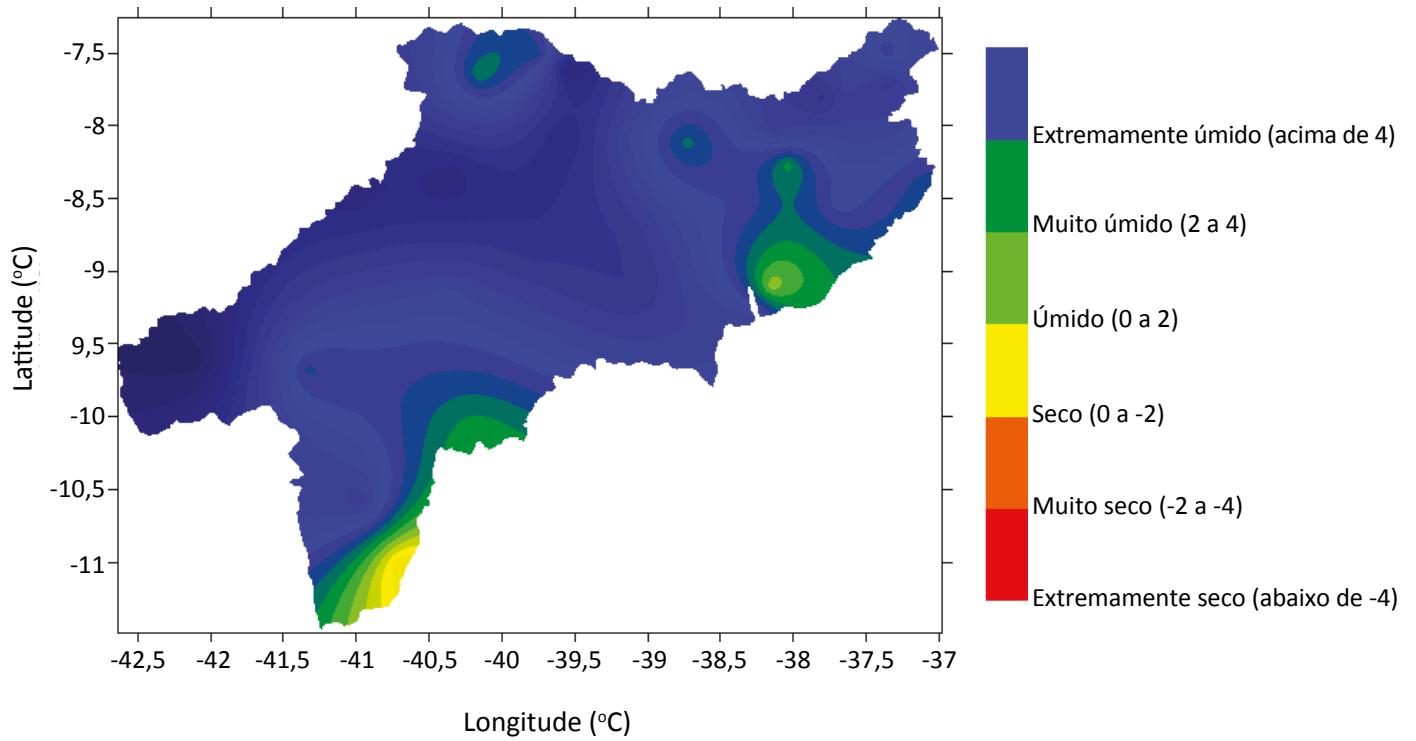


Figura 5 – Classificação do índice de anomalia de chuva (IAC) do submédio São Francisco, para o ano de 1985.

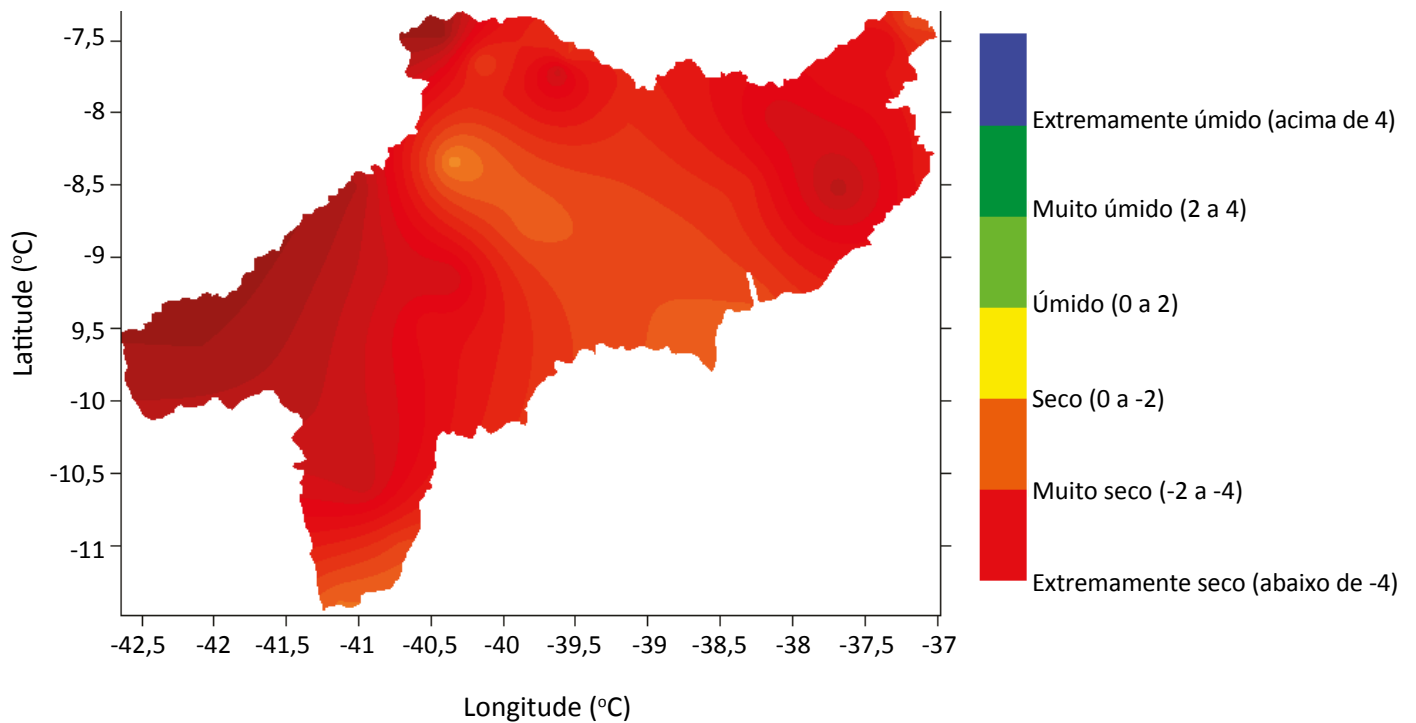


Figura 6 – Classificação do índice de anomalia de chuva (IAC) do submédio São Francisco, para o ano de 1993.

Nordeste do Brasil, sobretudo no último ano de sua ocorrência. Estudos de Da Silva (2009) corroboram essa análise, uma vez que afirmam que o principal sistema de grande escala causador dessa variabilidade negativa foi o intenso *El Niño* desse ano de 1993.

A Figura 7 mostra o ano de 1998, que similarmente a 1993 foi extremamente seco, mas com menor intensidade em suas classificações espaciais de IAC. A região leste da sub-bacia do submédio São Francisco quase que totalmente se classifica como extremamente seco, com exceção do município de Serra Talhada (PE), que possui IAC seco.

O ano de 1998 foi atingido por um *El Niño* também de intensidade forte, que provocou diminuição das chuvas no Nordeste do Brasil, entretanto é notável que sua influência se deu mais no centro-leste, ficando as regiões centro-sul e oeste com maiores índices pluviométricos e, dessa forma, com menor grau de escassez hídrica e maiores IAC. Não ocorreram, nesse ano, IAC positivos; mesmo nas regiões oeste e sul esses índices se classificam entre Seco, nos extremos sul e oeste da sub-bacia do submédio São Francisco, mais precisamente em Remanso, Morro do Chapéu e Jacobina, e muito seco, nas demais áreas localizadas na região centro-oeste da sub-bacia.

A Figura 8 apresenta o ano de 2012, que se classificou entre seco e extremamente seco. Apesar de esse ano não ter tido ocorrência nem influência do *El Niño*, 2012 marcou o início de uma seca severa na Região Nordeste brasileira, que foi atribuída a uma anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM), no Oceano Pacífico equatorial, central e leste. Essa anomalia indicou aumento da TSM, indicando evolução nas condições oceânicas favoráveis a uma configuração de fase positiva do fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul (Enos) com o episódio *El Niño* (SANTOS *et al.*, 2012). De acordo com a ANA (2014), o triênio 2012–2014 destacou-se pela situação extremamente crítica no semiárido brasileiro, onde na maior parte das estações pluviométricas o ano foi classificado como seco ou muito seco.

No ano de 2012 não ocorreu nenhum IAC positivo; todos os índices se classificaram entre secos e extremamente secos. Na região mais ao sul da sub-bacia do submédio São Francisco, nos municípios de Morro do Chapéu, Jacobina e Campo Formoso (todos na Bahia), e na região mais ao norte da sub-bacia, nas cidades de Exu e Moreilândia, ambas em Pernambuco, os IAC encontrados foram classificados como secos. No restante da sub-bacia, prevaleceu o IAC extremamente seco,

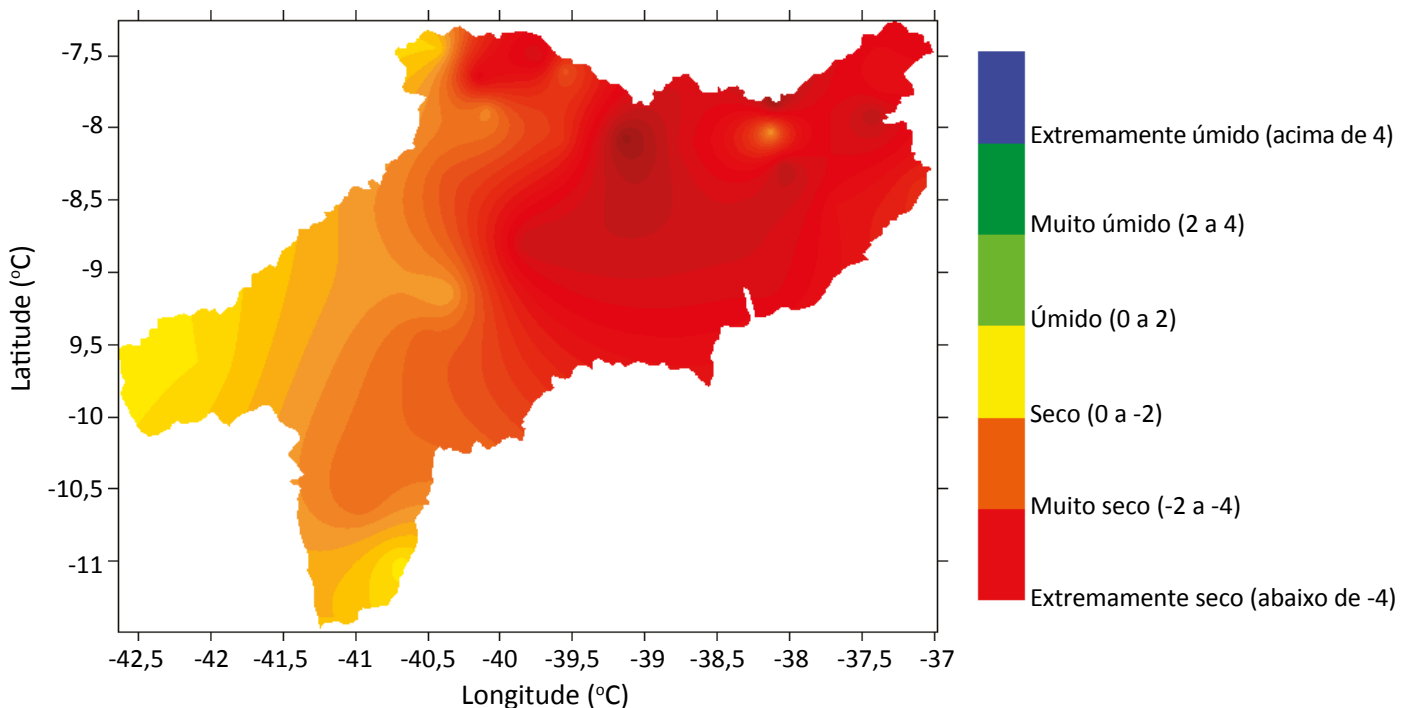


Figura 7 – Classificação do índice de anomalia de chuva (IAC) do submédio São Francisco, para o ano de 1998.

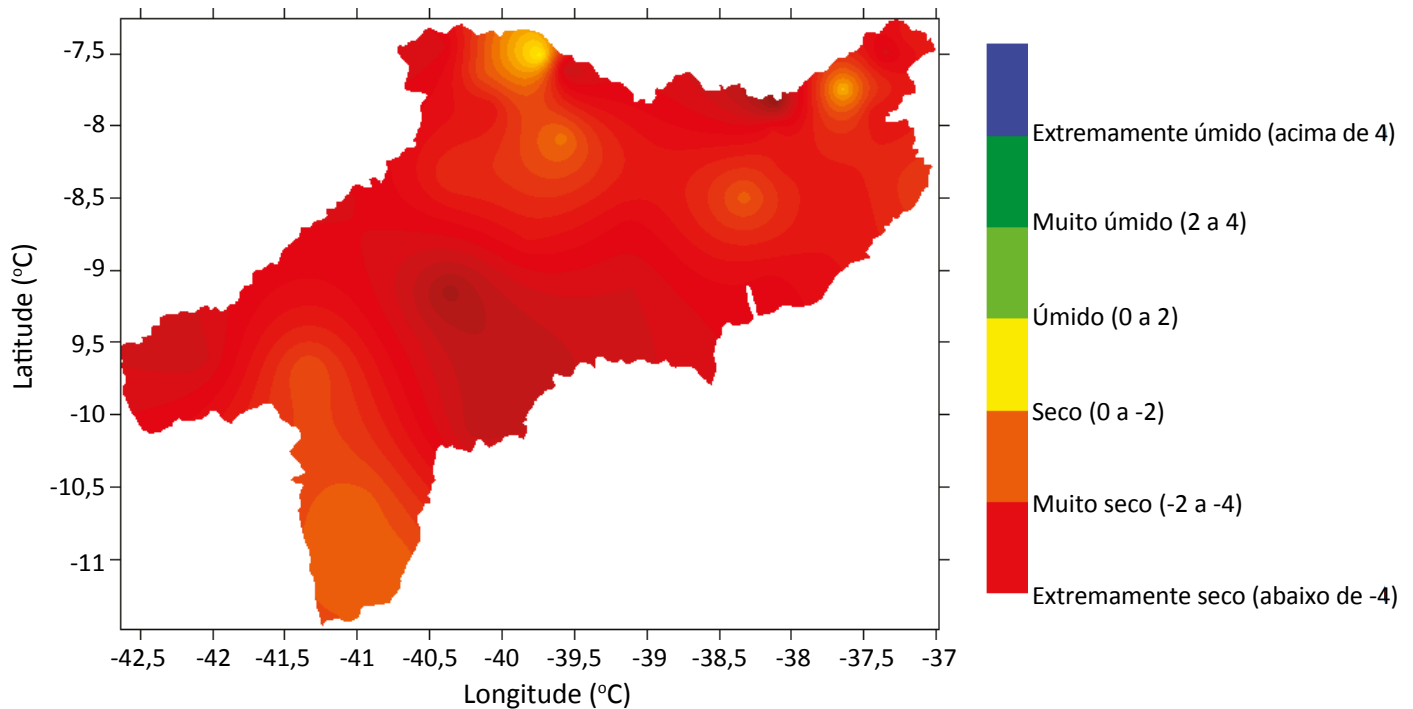


Figura 8 – Classificação do índice de anomalia de chuva (IAC) do submédio São Francisco, para o ano de 2012.

o que significa que os totais de precipitação pluviométricos para esse ano ficaram bem abaixo da média histórica na maior parte da região de estudo.

Diante do exposto, observou-se que houve tendência de diminuição dos totais pluviométricos, o que se tornou mais evidente a partir da década de 1980. Na primeira metade da série histórica, os IAC positivos predominaram, no entanto viu-se uma inversão,

e a partir de 1980 os IAC negativos foram mais abundantes tanto em quantidade de ocorrência quanto em relação à intensidade desses eventos, ao contrário do que se encontrou na primeira metade da série histórica. Vale ressaltar que os anos 1990 se destacaram como o período mais seco de toda a série analisada, com a ocorrência de dois casos de *El Niño* de forte intensidade e nenhum evento de IAC positivo.

CONCLUSÕES

No trecho submédio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, diagnosticou-se que até a década de 1980 os anos chuvosos ocorriam com mais frequência que os anos secos. Esse período corresponde a um ponto de inflexão, e os anos secos começaram a predominar, agravando-se na década de 1990.

Dessa forma, vale ressaltar que aconteceu uma modificação importante no padrão da precipitação média no submédio do Rio São Francisco: mais períodos de anos secos do que de anos úmidos.

Constatou-se que o cálculo do IAC pode ser utilizado como uma ferramenta para auxiliar o acompa-

nhamento climático e a variabilidade pluviométrica de uma determinada área, uma bacia hidrográfica, por exemplo, ajudando no gerenciamento dos recursos hídricos, e então empreender ações de adaptação e mitigação.

Com esses resultados, buscou-se mostrar a importância da gestão e a adequação das águas na bacia hidrográfica, pois, se essa tendência de crescimento de anos secos se configurar como padrão, o problema do abastecimento se consolidará, a demanda não será atendida e os conflitos pelo uso da água se tornaram mais graves.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: relatório 2013*. Brasília: ANA, 2014.
- ARAÚJO, L. E.; DA SILVA, D. F.; MOARES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Paraíba usando IAC. *Revista de Geografia da UFPE*, Recife, v. 24, p. 47-59, 2007.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise climática da bacia do Rio Paraíba – índice de anomalia de chuva (IAC). *Revista de Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009.
- ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C.; SOUZA, W. M. Análise de detecção de variabilidades climáticas com base na precipitação nas bacias hidrográficas do Sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 5, n. 3, 2012.
- ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C.; MELO, G. L.; IRMÃO, R. A. Índice de anomalia de chuva (IAC) como indicador para análise da variabilidade climática na bacia hidrográfica do Rio Pajeú – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., Bento Gonçalves, 2013. *Anais...*, Bento Gonçalves, 2013.
- CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Relatório do clima do Inpe. In: MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.
- CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *El Niño e La Niña*. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: jul. 2015.
- CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PERERÊ, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTI, A. C. *Solos do submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008.
- DA SILVA, D. F. *Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE)*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)–Programa de Doutorado Temático em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Subsídios técnicos para a indicação geográfica de procedência do Vale do Submédio São Francisco*. Organização: Maria Auxiliadora Coelho de Lima. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009.
- FREITAS, M. A. S. A previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE REPRESAS Y OPERACIÓN DE EMBALSES, Puerto Iguazú, 2004. *Anais...* Puerto Iguazú: Cacier, 2004. v. 1.
- FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, p. 19-30, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.ano.pi>.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- LIMA, R. da C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. (Orgs.). *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Campina Grande: Insa-PB, 2011.
- MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. v. 1. 214 p.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Plano da operação energética 2012/2016: PEN 2012. Relatório executivo*. Rio de Janeiro: ONS, set. 2012. v. 1. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/avaliacao_condicao_operacao_energetica/PEN%202012_VOL1_RELATORIO%20EXECUTIVO.pdf>. Acesso em: 26 maio 2015.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Sumário Executivo*. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: PBMC, 2013.

ROOY, M. P. VAN. *A rainfall anomaly index independent of time and space*, Notes, 14, 43, 1965.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 15, n. 51, 2014.

SANTOS, E.; MATOS, H.; ALVARENGA, J.; SALES, M. C. L. A seca no Nordeste no ano de 2012: relato sobre a estiagem na região e o exemplo de prática de convivência com o semiárido no distrito de Iguaçú/Canindé-CE. *Revista Geonorte*, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 819-830, 2012.

SECTMA – SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. *Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco*. Recife, 2006. 104 p.

CARRYING CAPACITY LIMITS OF NET CAGE AQUACULTURE IN BRAZILIAN RESERVOIRS

LIMITES DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA AQUICULTURA
EM TANQUES-REDE EM RESERVATÓRIOS BRASILEIROS

Günter Gunkel

Ass. Professor of Limnology, Chair
Water Quality Control, Berlin
University of Technology –
Berlin, Germany.

Elena Matta

PhD Program of Civil Engineering,
Berlin University of Technology –
Berlin, Germany.

Florian Selge

PhD Program of Environmental
Technology, Berlin University of
Technology – Berlin, Germany.

Gérsica Moraes

Nogueira da Silva

PhD Program of Civil Engineering,
Universidade Federal do
Pernambuco – Recife, Brazil.

Maria do Carmo Sobral

Professor of Civil Engineering,
Universidade Federal do
Pernambuco – Recife, Brazil.

Corresponding address:

Günter Gunkel – Technische
Universität Berlin – Sekr. KF 4, Straße
des 17. Juni 135, D – 10623 Berlin,
Germany – E-mail: guenter.gunkel@
tu-berlin.de

ABSTRACT

Finfish aquaculture in net cages is widely used in Brazilian reservoirs, mainly for tilapia production. There is a large and increasing potential for production in the São Francisco river basin, and particularly the Itaparica reservoir. Tilapia production amounts to 24,000 t y⁻¹, with a licensed amount of 43,267 t y⁻¹. This intensive fish production in net cages is responsible for a significant biological oxygen demand, and phosphorus and nitrogen load on the reservoir, which promotes eutrophication. Particulate organic matter released from the net cages accumulates beneath the net cages, and a minimum water depth beneath the net cages of 10 m is required to limit the sediment increase to a few millimetres per year. Modeling of Icó-Mandantes bay has identified a reduced water exchange within the bay. Modeling of the effect of net cage aquaculture within the Icó-Mandantes bay points out clearly the significant increase in dissolved phosphorus and the accumulation inside the bay area. The carrying capacity of the reservoir was determined using the P load model, with a critical P concentration based on the phosphorus use efficiency. The critical P concentration amounts 25 µg L⁻¹, and the critical P load of the reservoir amounts 2.84 g m⁻² y⁻¹; the actual load is already 3.30 g m⁻² y⁻¹, such the reservoir is already overcharged by nutrients. A sustainable “blue” aquaculture must be implemented based on use of advanced systems, species selection, fish feed, and linked production systems.

Keywords: net cageculture; green aquaculture; tilapia; *Oreochromis niloticus*; Itaparica; São Francisco.

RESUMO

A aquicultura de peixe em tanques-rede é amplamente utilizada em reservatórios brasileiros, principalmente para a produção de tilápia. Os reservatórios presentes na bacia do rio São Francisco são vistos como tendo um elevado e crescente potencial de produção, principalmente o reservatório Itaparica. A produção de tilápia ascende a 24.000 toneladas por ano, com um licenciamento de 43.267 toneladas por ano. Essa produção intensiva de pescado em tanques-rede é responsável por uma carga significativa de fósforo, nitrogênio e demanda biológica de oxigênio, promovendo o processo de eutrofização no reservatório de Itaparica. A matéria orgânica particulada lançada é acumulada sob os tanques-rede, e uma profundidade mínima de 10 m é requerida como limite de água abaixo dos tanques-rede, necessário para limitar o aumento de sedimentos em alguns milímetros por ano. A modelagem da baía Icó-Mandantes tem identificado uma troca reduzida de água no interior da baía. A modelagem também aponta claramente o efeito da aquicultura em tanques-rede através do incremento significativo de fósforo dissolvido e seu acúmulo no interior da área

da baía. A capacidade de carga do reservatório é calculada usando o modelo de carga de P e uma concentração crítica de P, baseado na eficiência do uso de fósforo. A concentração crítica total de P de $25 \mu\text{g L}^{-1}$, e a carga crítica de P do reservatório de $2,84 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$; a carga real é de $3,30 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, estando o reservatório já sobrecarregado por nutrientes. A aquicultura sustentável “azul” deve ser implementada com base na utilização de sistemas avançados, seleção de espécies, sistemas de produção e alimentação de peixes interligados.

Palavras-chave: tanques-rede; aquicultura; tilápia; *Oreochromis niloticus*; Itaparica; São Francisco.

INTRODUCTION

Fisheries in lakes and reservoirs are of interest due to the success and increasing significance of finfish aquaculture, with the aquaculture yield exceeding that of artisanal fisheries in many countries. A small-scale artisanal fishery is seen as a necessary part of the maintenance of an aquatic ecosystem, because it reduces fish biomass to the optimum level and prevents the over-aging of the fish population. The optimum fish biomass is determined by a balanced predation effect in the trophic cascade, due to the predation-pray functional chain: high abundance of carnivore fish → low abundance of planktivorous fish → increased development of zooplankton → reduced algae biomass due to zooplankton predation, or vice versa (GUNKEL *et al.*, 2016).

Fish aquaculture as a means of food production faces many challenges, due to overfishing, contamination, and degradation of natural water bodies. Additionally, the demand for fish is increasing worldwide, and new high price markets guarantee the economic success of aquaculture technologies. Today, global freshwater aquaculture production is rising at a rate of 7.5% p.a., compared to a rise in the commercial fishery yield of only 1.4% p.a. (FAO, 2013).

The significance of fish aquaculture has been increasing in Brazil for several decades, especially freshwater fish, and artisanal fisheries have been restricted due to the limited capacity of the water bodies and seasonal effects of low water levels. Fish aquaculture technologies have been established for about five decades, but their implementation in South American countries has been delayed. However, growth rates have been increasing for about 20 years, mainly due to the use of net cages of about 10–300 m³.

The use of reservoirs for aquaculture is still a common practice in many countries, with restrictive regulations implemented to limit the environmental impact. In

many countries, net cage aquaculture is prohibited or restricted in lakes and reservoirs (e.g. Chile and Germany). In Brazil, aquaculture is permitted to occupy 1% of a lake's surface, but there are concerns about the sustainability of this regulation (GUNKEL *et al.*, 2013; SUHET & SCHOCKEN-ITURRINO, 2013; CANOCICO *et al.*, 2015).

More advanced fish aquaculture systems use ponds, tanks, and raceways on the border of a reservoir, with a flow through of pumped lake water. This technology permits the treatment of the pond/tank wastewater with sedimentation units or artificial wetlands, before it is released in the reservoir. Ponds are used mainly for fry and fingerling (i.e., small fishes) production, while the growth of fish to their final weight occurs in net cages.

Fish aquaculture systems in lakes and reservoirs have to be evaluated in terms of both their benefits, such as food production and economic development, and their impact on nature, mainly due to contamination of water bodies, leading to eutrophication, and sediment, leading to anoxic conditions. Non-native species are often used for aquaculture, and it is not possible to avoid the escape of some of the cultured fish. Non-native species can change the natural fish community and spread as invasive species.

Several fish species have been used in aquaculture systems, such as the common carp (*Cyprinus carpio*), the grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), the bighead carp (*Aristichthys nobilis*), and the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In addition, some native species of the São Francisco river are also used in aquaculture, such as the pacu (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), and curimatá (*Prochilodus spp.*) (CHESF, 2003; SCOTT, 2013). However, the significance of these native species is small, with tilapia accounting for about 40% of the fish production in Brazil.

Tilapia is widely used in aquaculture and its production has increased in Brazil, mainly in the south and north-east of the country. The fish are well suited to aquaculture because they are fast-growing and tolerant of a range of environmental conditions. These species adapt readily to changes in salinity levels and low oxygen availability, can feed at different trophic levels, and, under certain circumstances, can tolerate overcrowding (CANONICO *et al.*, 2005).

The main limiting factor for aquaculture systems in lakes and reservoirs is the eutrophication that occurs due to the input of feed rests and feces, as well as the excretion of ammonium by the fish. In a mass balance the input of nutrients (P, N, organic carbon compounds) exceeded their export by the fish yield by three and four times for phosphorous and nitrogen, respectively. Organic matter inputs lead to the consumption of oxygen by mineralization, as well as the contamination of sediment and the promotion of anoxic conditions.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The environmental impact of net cage fish culture in tropical reservoirs was studied in the Itaparica reservoir in São Francisco river, Northeast Brazil. The reservoir is located in the sub-middle course of the river. The São Francisco river is the 25th largest river in the world and flows from the rainy southwest to the semi-arid northeast of Brazil. Itaparica reservoir was built for hydroelectric power generation and has operated since 1988. It is located in a semi-arid area, with typical Caatinga fauna and flora. The reservoir has a regulated inflow of $2,060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a length of 149 km, a surface area of 828 km^2 and a subwater basin of $93,040 \text{ km}^2$. The maximum depth is 101 m (mean depth = 13 m). The reservoir's capacity is $10.7 \times 10^9 \text{ m}^3$.

For about 10 years, regular monitoring of the water quality has been undertaken by the Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Limnological and socio-economic studies have also been conducted (GUNKEL & SOBRAL, 2007; GUNKEL *et al.*, 2013). Since

2012, an interspecific binational research program, Interplay among multiple uses of water reservoirs via INNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems (INNOVATE) has been ongoing in the area (INNOVATE, 2016). The reservoir is characterized by high flow through conditions, with a theoretical residence time of 2 months at high water level (304 m above sea level (a.s.l.)) and about 1 month at low water level (299 m a.s.l.). The water quality of the main stream is determined by low conductivity ($82.8 \pm 27.5 \mu\text{S cm}^{-1}$), and a midday water temperature of $27.5 \pm 1.9^\circ\text{C}$ with oxygen concentrations of $7.1 \pm 1.6 \text{ mg L}^{-1}$. Nutrient concentrations are small, with mean soluble reactive phosphorous = $6.9 \pm 11.5 \mu\text{g L}^{-1}$, total phosphorous (TP) = $16.9 \pm 10.2 \mu\text{g L}^{-1}$, and dissolved inorganic nitrogen = $90 \pm 136 \mu\text{g L}^{-1}$. Algae blooms have been observed, including cyanobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) blooms with a maximum Chl a concentration of $65 \mu\text{g L}^{-1}$ and the mass development of submerged macrophytes (*Egeria densa*).

The Aquaculture Systems

The environmental impact on the reservoir of two aquaculture net cage systems were investigated, Jovens Criadores de Peixes and Pé da Água, which both produce tilapia (*O. niloticus*). Jovens Criadores de Peixes consists of 65 net cages of 14 m^3 each. Up to 2,500 fish with a final body weight of 1 kg can be raised in each cage. The production cycle is 4–5 months. The total annual production amounts to 216 t tilapia. Pé da Água has 210 net cages of 6 m^3 each, with a yearly production of 300 t of tilapia (GUNKEL *et al.*, 2013).

Water quality parameters were analyzed using a multi parameter device (EXO water quality sonde, YSI, Yellow Springs, OH, USA) and chemical analyses were conducted according to US Standard Methods. Sediment samples were analyzed after a HNO_3/HCl digestion for P and N, respectively, by colorimetric method (FIASSTAR 5000, Gerber Instruments, Switzerland) using German standard methods (DEV, 2015).

Modeling Aquaculture Emissions In Icó-Mandantes Bay

The impact of dissolved ion emissions from aquaculture net cages was studied by modeling the accumulation, dilution, and spreading of N and P in the aquaculture wastewater plume. A small theoretical net cage culture system with a productivity of 130 t y^{-1} was assumed in the model. The ion emissions from an aquaculture system were simulated using TELEMAC-2D, which is a module of the TELEMAC-MASCARET system, a powerful integrated modeling tool for free-surface flows that solves the two-dimensional shallow water and transport equations (HERVOUET, 2007). A high-resolution unstructured mesh with triangu-

lar elements was established in a previous study (MATTIA *et al.*, 2014). The entire computational domain had an area of around 100 km^2 , covering Icó-Mandantes bay itself and containing part of the reservoirs mainstream, including the inflow and the outflow. The site selected to measure aquaculture emissions was around 100 m from the south-eastern shore of the bay, where the water depth was 5 m (Figure 1). A low water level of 300 m a.s.l. was used as the constant water elevation and a controlled discharge of $2,060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ was set as the boundary condition at the inflow from Itaparica.

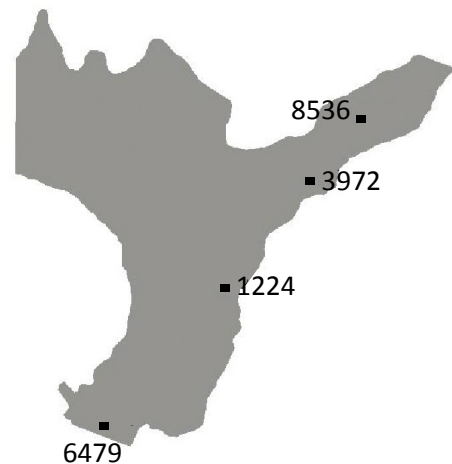
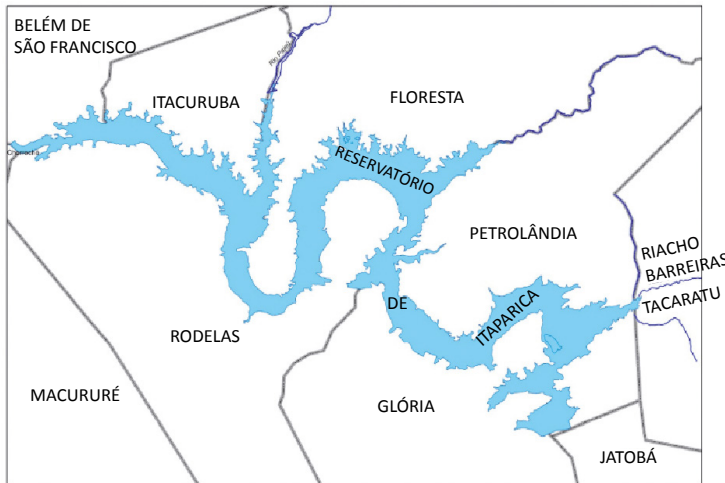


Figure 1 – Itaparica reservoir, São Francisco river, and observation points used for aquaculture emission modeling inside Icó-Mandantes bay.

DEVELOPMENT AND LICENSING OF FINFISH AQUACULTURE IN BRAZIL

There has been a rapid development of finfish aquaculture in Brazil and other countries in South America during the past 20 years. In Brazil, fish production increased from 45,000 t y^{-1} in 1995 to 209,400 t y^{-1} in 2001 and 415,700 t y^{-1} in 2009 (Figure 2). Tilapia accounts for about 40% of the fish production (133,000 t y^{-1} in 2009; KUBITZA, 2011). This is supported by low working costs and a strong local market mainly in South Brazil, but also by exports to North America.

The licensing of finfish aquaculture has been developed since 1997 by multi-decree/-resolution/-norm processes, based on three key values:

1. the use of a limit of 1% of the surface area of a reservoir for cage aquaculture (*Instrução Normativa Interministerial n. 7, 2005*);
2. a minimum water depth of $1.75 \times$ the underwater cage construction height, or at least 1.5 m; and
3. the CONAMA Resolution n. 357/2005, which establishes maximum limits for total P and Chl a of $30 \mu\text{g L}^{-1}$ (SCOTT, 2013).

In 2009, the National Environmental Council (CONAMA) established a clear processing of licensing (CONA-

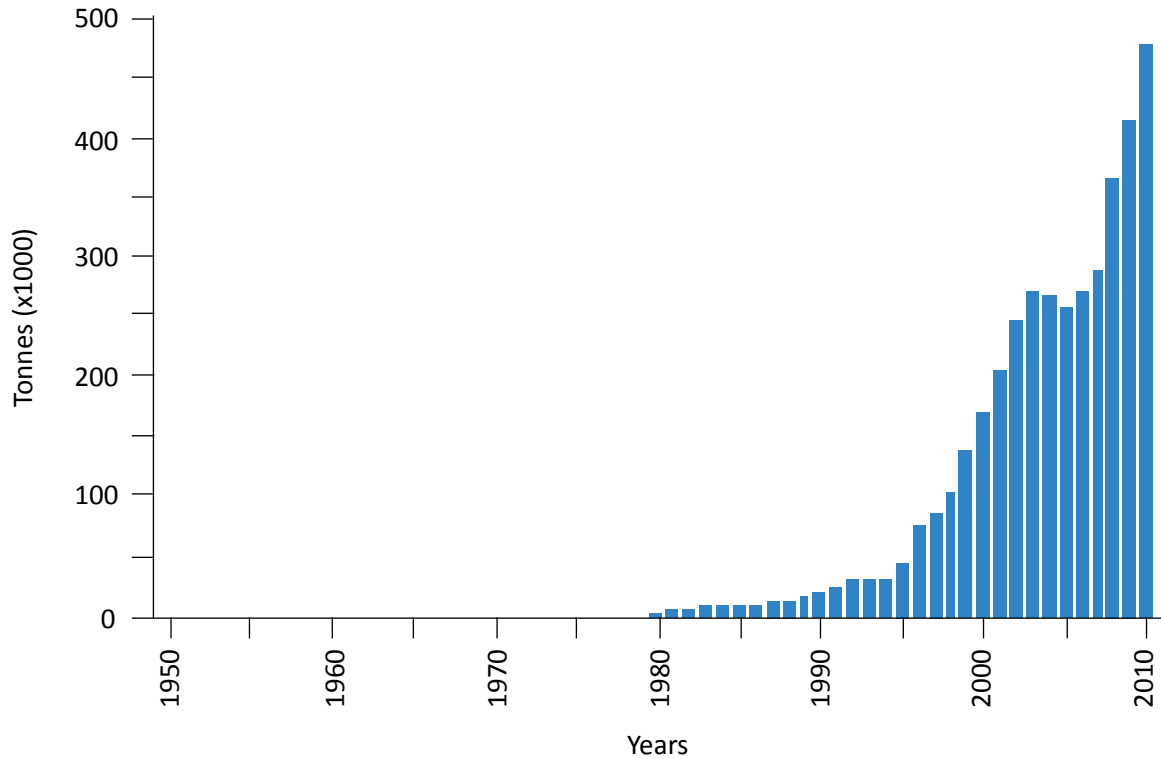


Figure 2 – Reported aquaculture production in Brazil (FAO, 2013).

MA resolution n. 413/2009). The licensing system classifies the potential impacts of a proposed aquaculture system, documents the environmental situation, sets minimum criteria for environmental reporting and ensures that a monitoring program will take place based on hydro-biological studies.

Nevertheless, a critical discussion is required regarding the periodic water level changes in reservoirs, which leads to a decrease in the lake area, e.g. about 26% in Itaparica. From an ecological perspective, net cages are not acceptable in areas with a water depth of <10 m beneath the cage, with a depth of about 4–6 m

required to guarantee the effective translocation and dilution of particulate organic material and avoid large increases in sediment beneath the cages (see below). The limits of the available lake area and minimum water depth are strongly influenced by the water level, and therefore licensing must take account of low water level conditions, otherwise a severe overcharge will occur during dry periods with low water levels. In Itaparica, the maximum water level is 304 m a.s.l., with a mean depth of 13 m, but throughout the year the low water level decreases down to 300–299 m, with a mean water depth of <8 m, and existing cage aquaculture systems must be translocated.

PRODUCTION OF TILAPIA IN NET CAGES

Tilapia culture technologies

Fish aquaculture is a two-stage process, the propagation and cultivation of the fry and fingerlings (young fish up to 12 cm) is followed by growth cultivation for commercial use. The cultivation of fry and fingerlings occurs in tanks or ponds, whereas the growth stage can proceed using low-cost technology, such as net cages of a few m³ or larger net

cages with a volume of >200 m³. Tilapia production has increased very rapidly due to the small volume/high density (SVHD) net cage technology used in reservoirs. These SVHD cages allow a fish yield of 80–250 kg m⁻³ crop⁻¹, with two crops per year (KUBITZA, 2011) or up to 330 kg m⁻³ crop⁻¹ with three crops per year (HALWART *et al.*, 2007).

Alternatively, growth can also occur in ponds, tanks, or raceways, albeit with higher capital costs (Figure 3). The fish yield in naturally managed ponds amounts to 8–10 t ha⁻¹, with a production cycle of one year, but with high flow-through rates and artificial aeration it can be increased to 60–80 t ha⁻¹ crop⁻¹ (KUBITZA, 2011).

The benefits of the net cage culture of finfish are:

- low-cost technology, no water pumping costs, the main costs are only the fish feed;
- high intensity of production;
- flow through of fresh water, constant (good) water quality;
- easy control of fish health and food intake;
- possibility to relocate the net cages during low water levels or when there are harmful plumes of toxicants or algae;
- many treatment options in cases of fish diseases (e.g. isolation of net cages, short-term

chemical treatment with quick dilution of the substances).

The risks of net cage culture are:

- eutrophication of the water body due to the use of isolated bays for aquaculture;
- contamination of sediments by particulate waste from fish culture;
- risk of decreased oxygen levels due to the natural day/night oscillation of oxygen concentrations in eutrophic water;
- risk of infection of cultured fish by wild fishes infected with disease;
- risk of infection of wild fishes by farmed fishes;
- reduced fish quality with increasing feeding rates due to the high fat content;
- escape of cultured fish and damage to the natural fish biocoenosis.



Figure 3 – Left: Net cage culture system in Itaparica, São Francisco; right: Raceway (AAT Company) at Paulo Afonso, São Francisco.

Feed Quality

Fish cultivation is based on artificial feeding in the form of pellets. The quality of the feed is determined by the content of fish proteins (fish meal), animal proteins (slaughtering, blood, plumes etc.), and supplementary plant

proteins (e.g. soy). Fish feed that contains a large amount of plant proteins can be used for the cultivation of omnivorous and herbivorous fish, whereas carnivorous and planktivorous species need a higher amount of animal

proteins. The quality of fish feed required also depends on the development stage (fry > fingerling > adults).

The availability of the fish proteins in the feed is the most limiting factor, and in many regions specific fisheries for fish meal production have been established, with no requirements to protect young fishes or endangered species. The fish feed used for tilapia production contains protein (>40%), mineral elements (<10%), water (>11%), fiber (>2.5%), and phosphorus (>1.3%). Kubitza (1999) reported a mean P range in feeds of 0.85–1.54%.

Tilapia Growth

The most important environmental factor for tilapia growth is the temperature. Tilapia grows at 15–32°C with an optimum of 25–26°C. Temperatures below the optimum lead to a reduced growth rate, with temperatures >26°C leading to a reduced food conversion rate (CODEVASF, 2010).

Tilapia is a fast-growing fish and reaches 600 g within 4 months. The mean production data are given in

Fish feed also has to be evaluated in terms of its potential for environmental contamination, as indicated by its P content and stability in water. The P content should not exceed 0.6%, with excess P leading to greater P excretion by the fish, without any growth increase. The stability of the pellets in water is an important factor in minimizing feed losses. The pellets should not start to disintegrate during the sedimentation process within the net cages, even though some have a height of >10 m.

Table 1. Two production cycles per year are common in warm water, in which the fish reach a final weight of up to 900 g (SAMPAIO & BRAGA, 2005).

The feeding rate for small fishes (75 g) is 5.0% d⁻¹ and for large fishes (350 g) is 2.0% d⁻¹ (CODEVASF, 2010). The amount of feed used for fish production is given by the food conversion ratio (used dry feed/total fresh body weight of fish) and amounts to 1.3–1.5.

Table 1 – Production studies with Red Tilapia in Ribeirão de Saloméa reservoir, Bahia at 27°C and with excess feeding (mod. after SAMPAIO & BRAGA, 2005).

Tilapia growth data	
Production period	130 d
Fish number per m ³	200
Initial fish weight	31 g
Final fish weight	658 g
Total fish yield	475 kg
Food conversion factor, feed with 32% crude protein	1.53
Total feed used (4 mm pellets >350 g, 6 mm pellets >350 g)	717 kg

ENVIRONMENTAL IMPACT OF TILAPIA NET CAGE CULTURE

Aquaculture is a controlled and intensive fish production technology, which supports limited artisanal fisheries, but with the increasing production level, the impact on aquatic ecosystems also increases. The use of net cages for aquaculture in lakes, reservoirs, and coastal areas is the simplest technology for fish production, and is also the most frequently used system in the São Francisco River reservoirs. However, the use of the simple net cages must be evaluated very critically, because the possibilities in wastewater

treatment are very restrictive (see bellow). Additionally, pond systems at the margins of lakes and reservoirs, as simple flow-through systems, are frequently used for stock fish production, here waste water treatment can be done without effort. Other more advanced technologies, which are mainly used in European and North American countries, are based on water recycling systems as integrated aquaculture-agriculture (IAA) technology, integrated multitrophic aquaculture, fish-plant linked systems (aquaponics),

and tank technologies with high flow through rates and aeration by oxygen gas.

The environmental impact of net cage culture can be grouped into three categories:

Water Quality Impact

The contaminants of aquaculture wastewater are:

1. solids, such as feces and feed rests;
2. dissolved compounds, mainly nutrients such as ammonia and phosphorus (excreted by fish) and with lower concentrations of feed additives, including metals (copper, zinc, manganese, and iron) as micro nutrition compounds;
3. a lack of oxygen, as well as an increased concentration of organic compounds, with the corresponding biological oxygen demand (BOD₅);
4. occurrence of harmful bacteria such as *Streptococcus*, which are emitted by infected fishes, but also grow in aquaculture waste water (SUHET & SCHOCKEN-ITURRINO, 2013); and
5. chemicals such as antibiotics, fungicides, and insecticides that are used to treat fish diseases.

The effects on water quality depend on water currents, fish biomass in the cages, and the feeding level,

Sediment Quality Impact

The intensive feeding of fish in net cages leads to feed losses, typically in the range of about 10%, and the emission of particulate organic matter in the form of feces (about 15–20% of the feed). There is an accumulation of organic materials beneath the fish cages. The sediment becomes enriched with organic materials and anoxic conditions can occur, which can damage the sediment fauna and flora. Under anoxic conditions, the mobilization of P from the sediment occurs through a redox process.

Natural Fish Population Impact

The growth in tilapia culture generally results in negative effects on the natural biocoenosis, due its predatory characteristics. Trophic interactions are important. The direct

- impact on water quality;
- impact on sediment quality; and
- impact on the natural fish population.

but significant changes in water quality have been reported when tilapia are raised in net cages. Oxygen depletion occurs with the concentration beneath the cages reaching 1.85 mg L⁻¹ (Jovens Criadores). The no effect level for tilapia is about 2.0 mg L⁻¹ (XU *et al.*, 2006). Total P in water increases at these oxygen levels, with a ΔP_{total} of 0.026 mg L⁻¹ and 0.064 mg L⁻¹, respectively, in the studied aquaculture systems. High concentrations of ammonium have also been reported at these oxygen levels, with a $\Delta \text{NH}_4^+\text{-N}$ of 0.030 and 0.052 mg L⁻¹, respectively (GUNKEL *et al.*, 2013; SUHET & SCHOCKEN-ITURRINO, 2013).

In Brazil, there are no studies available that have reported the environmental fate and distribution of antibiotics and other chemicals in rivers impacted by freshwater cage aquaculture. The water quality in aquaculture areas has deteriorated and the repeated use of antibiotics is expected to result in the development of antibiotic-resistant bacteria, making antibiotics actually ineffective against the target pathogens, with environmental health consequences for humans and the native biological community (RICO *et al.*, 2014).

The increase in sediment due to particulate organic matter released from the net cages depends on the water current and depth, with calculations indicating typical sediment increase rates of a few millimetres. For Jovens Criadores (Table 2) the increase amounted to 20 mm y⁻¹ for the 2,300 m² area covered by net cages. The normal undisturbed sediment accumulation in an oligo- to mesotrophic reservoir is in the range of 1–2 mm y⁻¹, and this must be used as the limit value (Figure 4).

impacts of tilapia culture include its influence on the interspecific competition between tilapia and the natural fishes. The sharing of food and habitats reduces the am-

Table 2 – Tilapia production, feed use and nutrient emissions rates at Jovens Criadores net cage aquaculture system.

Parameter	Calculation factor	Value
Fish production		130 t y ⁻¹
Feed used	Conversion factor 1.4	180 t y ⁻¹
P input	1.2% P in feed	2.16 t y ⁻¹
P export by fish yield	23% P assimilation	0.50 t y ⁻¹
Dissolved P emission	22% P dissolved excretion	0.48 t y ⁻¹
P accumulation in sediment	5% feed loss, 15% feces	1.19 t y ⁻¹
N input	40% protein content	11.52 t y ⁻¹
N export by fish yield	25% N assimilation	2.88 t y ⁻¹
Dissolved N emission	55% excretion (NH ₄ ⁺)	6.34 t y ⁻¹
N accumulation in sediment	5% feed loss, 15% feces	2.30 t y ⁻¹
Personal equivalents (P dissolved)		570
Personal equivalents (N inorganic)		2,300
Sediment increase		45 m ³

P: phosphorus ; N: nitrogen.

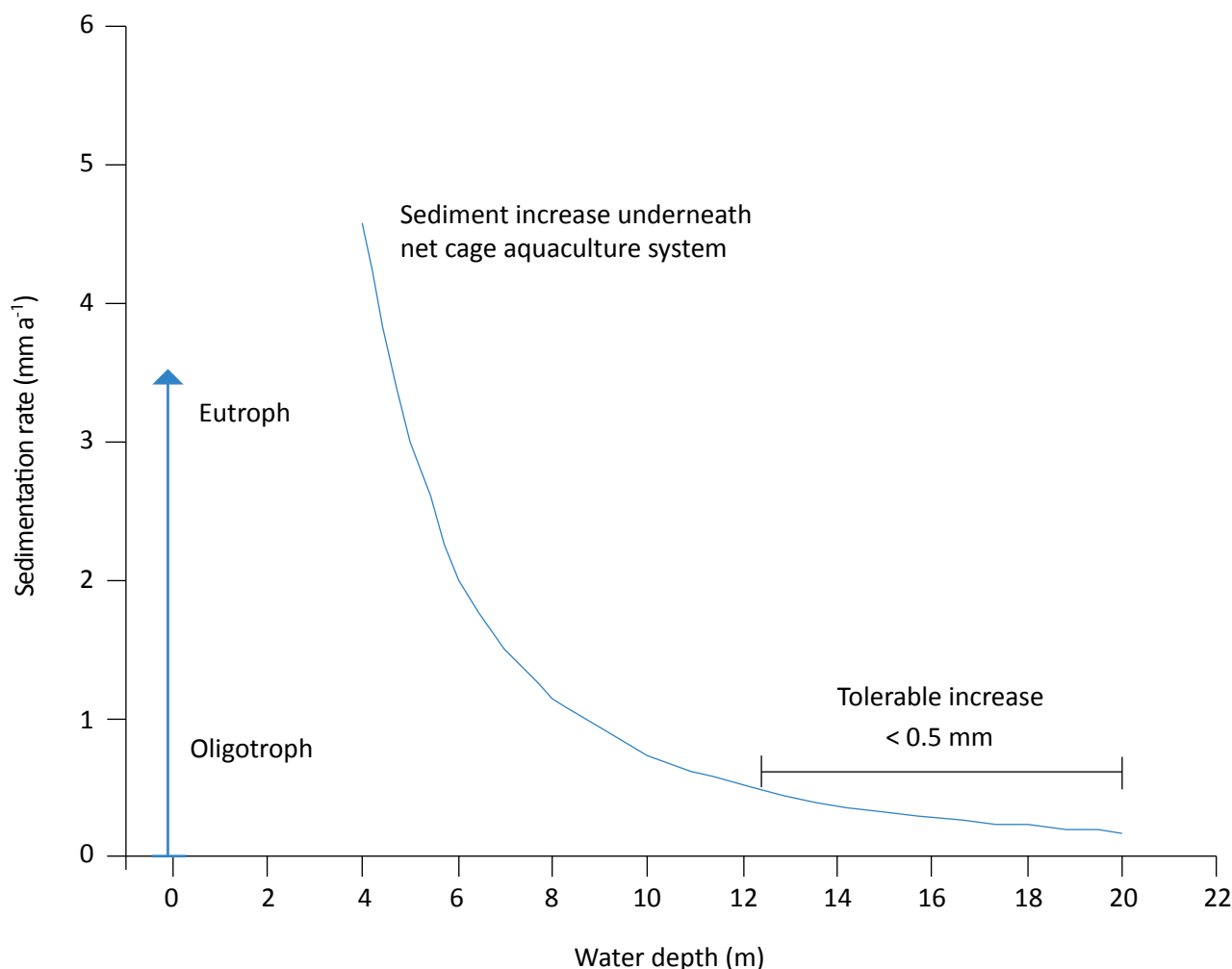


Figure 4 – The calculated sediment increase due to tilapia net cage aquaculture systems (Jovens Criadores de Peixes fish culture system, São Francisco, 65 cages, 200 t y⁻¹ fish production; data from Gunkel *et al.*, 2013).

plitude of the effective niche, and could lead to the extinction of natural species. Tilapia are generally considered to be herbivorous, detritivorous, or planktivorous, and have been documented to consume the eggs and larvae of other fish species, and even some small fish (CANONICO *et al.*, 2005). Additionally, there is a high risk of the introduction of parasites and diseases by virus, fungi, and bacteria following the import of fishes from other regions of the country or even other countries.

The ecological impacts of invasive species on inland water ecosystems vary significantly depending on the invading species, the extent of the invasion and the vulnerability of the ecosystem being invaded. Tilapia is considered to invasive species due to their high predation and successful breeding, which is enhanced due to egg and fry protection through mouth breeding.

While the use of aquaculture holds great promise for decreasing the fishing pressure on wild fish stocks, more studies of the natural fish biocoenosis are necessary to better understand the potential impacts of invasive tilapia on native fish (MARTIN *et al.*, 2010).

As a consequence of the environmental impacts of net cage aquaculture, the activity also has negative socioeconomic impacts on traditional fishing communities, because the environmental imbalance it produces contributes to the reduction of fish stocks. According to the FAO, it is estimated that more than 250 million people worldwide depend on artisanal fisheries, and in developing countries, such as Brazil, artisanal fishermen live near or below the subsistence level.

MODELING EMISSION PLUMES FROM NET CAGE CULTURE SYSTEMS IN ICÓ-MANDANTES BAY

The environmental impact of net cage culture systems within the reservoir is strongly regulated by their location and the water exchange processes, and the main stream, as the central part of the reservoir, and the main dendritic bays must be distinguished. This new approach for evaluating the reservoirs water quality and the risk of contamination has been proven by TELEMAC-2D modeling at Icó-Mandantes bay (Figure 5; MATTA *et al.*, 2014) and the eutrophication processes that have been observed (SELGE *et al.*, 2015).

The impacts of a net cage aquaculture system for tilapia were modeled using the emission data determined in this study, with a theoretical location of the cages at 100 m from the bank of the reservoirs and a water depth of 5 m, with low water level conditions (300 m above sea level) and a mean discharge of 2,060 m³ s⁻¹.

The results indicated that the exchange of water within Icó-Mandantes bay and the main stream of the reservoir were strictly reduced and the exchange processes inside the bay were very slow. After 1 month, the concentrations inside the bay (observation point in the middle of the bay) were only 0.2%, compared to the emission point (Figure 6). This led to the development of a plume of dissolved phosphorus (DP), which stretched, along the bank of the reservoir from the emission point to the south-west. The increase in DP in the water ranged from 4 to 8 µg L⁻¹ (Figure 6), while the mean DP concentration in the bay is already 18 µg L⁻¹ (sd = 13 µg L⁻¹) without aquaculture systems. This is a significant increase in the phosphorus concentration and lead to severe eutrophication, because the critical phosphorus concentration is only 25 g L⁻¹ (SELGE *et al.*, 2015).

CARRYING CAPACITY LIMIT OF THE ITAPARICA RESERVOIR

The determination of the carrying capacity is an approach that can be used to regulate the use of reservoirs and lakes for aquaculture systems. Limitations are given to avoid overcharging the water body, but a free capacity can be also established to enable aquaculture activities to increase.

In Brazil, the calculation of carrying capacity calculation was developed by Beveridge (1984) and is still

used to calculate the maximum fish production license. The sustainability of water quality and more ecosystem adapted methods should be applied to consider the sustainability of aquatic ecosystem services. An evaluation of water uses and the dynamics of water quality have to be considered along with natural effects, such as climate change. Thus, any use of reservoirs for aqua-

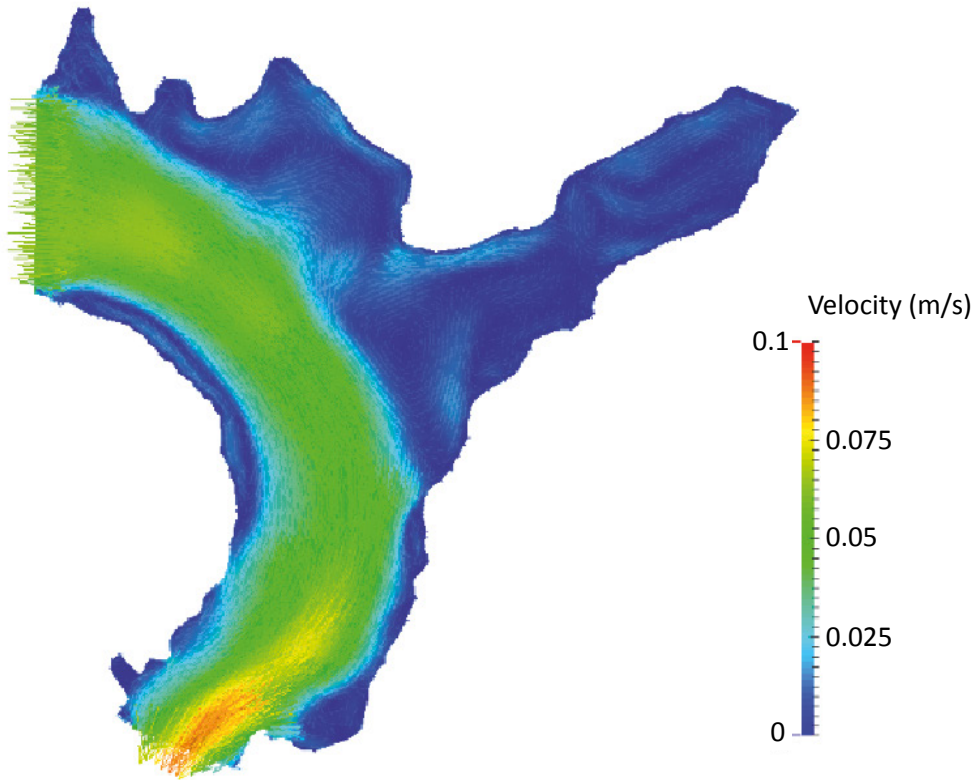


Figure 5 – Surface flow simulation results (mean discharge = 2,060 m³ s⁻¹, wind = 5.5 m s⁻¹).

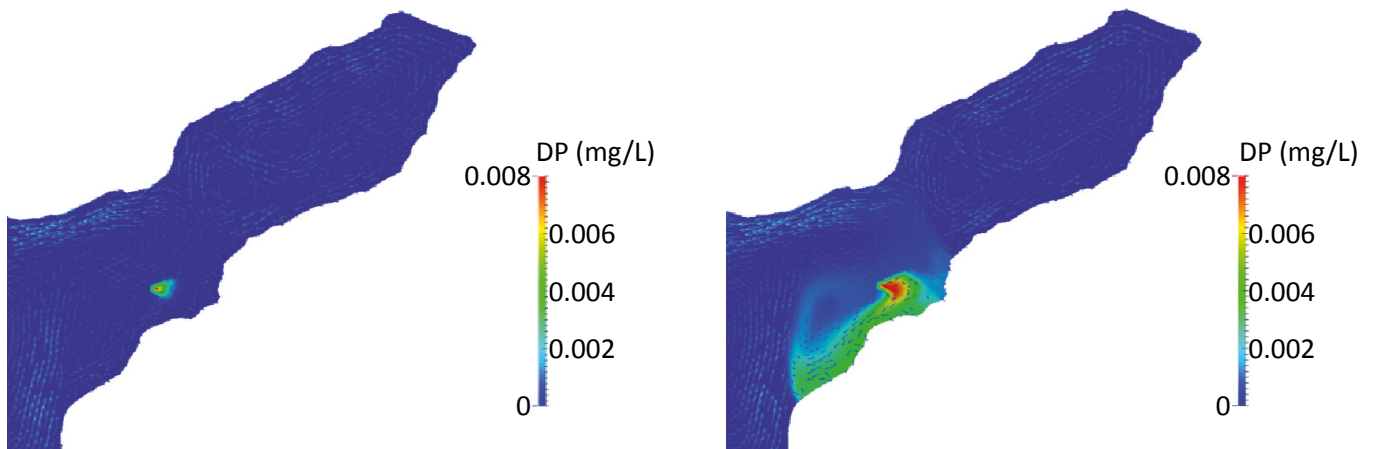


Figure 6 – Contamination plume from a hypothetical net cage aquaculture system in Icó-Mandantes bay due to tilapia production with a capacity of 65 cages (area 2,300 m²) and an annual production of 130 to fish. Left: simulation after 1 day, right: simulation after 1 month.

culture is limited by water quality and the morphometric conditions (depth, flow-through, mixing processes, critical phosphorus load, and also nutrient export from the watershed), and the carrying capacity has to be calculated individually for each water body.

The determination of the carrying capacity of a reservoir or distinct reservoir branches is an auspicious new approach in reservoir management, and is a key factor, which will allow the limited development of aquaculture.

Different parameters can be used to calculate carrying limits:

- Flushing rate is given as the theoretical water exchange time of the reservoir, and with an increasing flushing rate, the risk of eutrophication decreases. The flushing rate must be calculated under low discharge conditions to ensure a sufficient water exchange and net cage flow-through during dry periods to avoid fish kill.
- Initial water nutrient concentration must be considered. The P concentration should not increase to $>30 \mu\text{g L}^{-1}$ (the maximum limit of the CONAMA Resolution nº 357/2005) or $>25 \mu\text{g L}^{-1}$ (the critical P concentration; see below). The critical ammonium concentration is given by the toxic threshold of 0.78 mg L^{-1} (EU fish directive). Chlorophyll a should not exceed $30 \mu\text{g L}^{-1}$ (CONAMA Resolution).
- The water depth to cage height ratio should be 1:1.75 according to a CONAMA Resolution. A depth of about 10 m would produce a dilution of the particulate matter. The available reservoir area must be calculated at low water level, using a bathymetric model of high resolution.
- Sedimentation rate is given by the free water height beneath the cage system as well as the water current and the feed quality. The sediment increase should not exceed about 1 mm y^{-1} as a mean value for oligotrophic to mesotrophic water bodies.
- The oxygen concentration is very significant for fish health and should not decrease to below 2 mg L^{-1} for tilapia culture. Other species are more sensitive to a lack of oxygen. The minimum O_2 concentration occurred after midnight due to the respiration of fish, algae, macrophytes, and the biochemical use

of oxygen. In the daytime, the oxygen concentration is increased due to photosynthesis of the algae.

Water quality is a dynamic parameter with seasonal eutrophication periods and the mass development of algae in locally contaminated areas of the reservoir. Emergency plans in case of cyanobacteria blooms and a lack of oxygen (especially nocturnal oxygen deficits) are necessary.

The evaluation of the eutrophication risk has to be done using the P load concept of Vollenweider (OECD, 1982) and the determination of the critical P concentration is done using the phosphorus use efficiency relationship. This critical load concept must also be applied for aquaculture emissions (Selge *et al.*, 2015). This model is used worldwide and has been modified by Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS; SALAS & MARTINO, 1991). The differences in the critical P concentration as determined by different methods are very small. The application of the Vollenweider load concept for the Itaparica reservoir leads to a critical P concentration of $25 \mu\text{g L}^{-1}$, which corresponds to the CONAMA Resolution nº 357 (2005; SELGE *et al.*, 2015). The carrying capacity of Itaparica reservoir is given by CONAMA as $43,267 \text{ t y}^{-1}$ used as concept for further development (AURELIANO *et al.*, 2007). However, this leads to an overcharge of the reservoir if the P load concept is applied (Table 3).

The calculation of the P load of Itaparica reservoir gives a value of $3.32 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ with a critical load of $2.84 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, thus the Itaparica reservoir is already overcharged by nutrients, and eutrophication phenomenon, such as the mass development of algae and submerged macrophytes are observed. An increase in the extent of aquaculture production to the CONAMA license amount of $43,267 \text{ t y}^{-1}$ would increase the P load to $3.68 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, which exceeds the critical value by 130%. However, the calculation of the P load and carrying capacity for the whole reservoir was not supported by the water exchange conditions, and the effect of it being an isolated bay must also be considered. For Icó-Mandantes bay, the actual P load is $1.54 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, without any aquaculture system, which significantly exceeds the critical load by 324%. If 1% of the bay area is used for aquaculture, the load would increase to $2.22 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, which corresponds to an overcharge of 467%.

SUSTAINABILITY OF AQUACULTURE IN RESERVOIRS

Aquaculture is an effective and nearly unlimited technology for fish production, but the environmental impact has to be reduced, in many locations intensive aquaculture has already led to an overcharge of aquatic ecosystems. Under Brazilian law (Lei Federal nº 9.433 from 08.01.1997), multiple water uses are established and aquatic ecosystem services must be protected. The sustainability of aquaculture is based on (1) the selected species, (2) cultivation systems, and (3) the feed type and origin.

The use of native or already introduced species is a fundamental requirement to protect the natural fish bio-

coenosis. When new species are used some will escape from aquaculture systems and can become predators of natural species, act as vectors of (new) fish diseases or replace native species by being more competitive in the local ecosystems.

The use of adapted culturing systems makes land-based systems, such as ponds or tanks with wastewater treatment facilities, a more appropriate alternative. The treatment of aquaculture ponds or tanks with flow-through systems is a necessary practice. Treatment technologies were reviewed by Snow *et al.* (2012). Net cages used in lakes and reservoirs are not

Table 3 – The phosphorus load calculation and critical load as a limit value for the eutrophication of Itaparica reservoir and Icó-Mandantes bay.

P sources (half-life in years of leaching)	g P m ⁻² year ⁻¹	
	Itaparica reservoir 2013	Icó-Mandantes bay 2013
Natural sources		
Inflow main stream in reservoir/in bay	1.561	0.274
Subwater basin (Caatinga)	1.279	0.397
P mobilisation from sediments (internal load)	0	0
Mineralisation of inundated soils (2 years)	<0.001	<0.001
Mineralisation of inundated trees	0.036	0.032
Atmospheric deposition by rain	0.054	0.054
Sub-Sum	2.927	0.758
Anthropogenic sources		
Water level changes and inflow in bay	0	0.048
P mobilisation from the desiccated littoral zone	0.013	0.014
P mobilisation from desiccated macrophytes	?	0.335
Actual aquaculture (24,000 t y ⁻¹)	0.312	0
Maximum aquaculture limit (43,267 t y ⁻¹)	*0.675	*0.675
Drainage water from agricultural areas	0.096	0.010
Wastewater inflow	0.026	0.100
Sub-Sum	0.369	0.459
Total load	3.318	1.217
Total load with maximum aquaculture	*3.681	*1.892
Critical load	2.838	0.475

*theoretical value at the maximum aquaculture capacity (feed with 1.2% P, conversion factor = 1.4); P mobilisation from desiccated macrophytes = 821 g m⁻² *Egeria densa* (dw), 0.2 % P, 65% covering of desiccated area.

a sustainable technology due to the contamination of the aquatic system. Additionally newly developed technologies, such as large planes beneath the net cages, with a water pumping system to collect organic matter (feed residue, feces) can reduce the environmental impact of aquatic systems, but this is cost intensive and does not have an effect on the excretion of dissolved nitrogen, phosphorous, and organic substances.

More advanced fish aquaculture systems use ponds and tanks on the border of reservoirs with a flow through by abstracting lake water. This technology permits the treatment of the wastewater in tanks, ponds, or in artificial wetlands, before it is released into the reservoir.

The feed used in aquaculture should be altered to minimize its environmental impact, e.g. no excess phosphorus and nitrogen, high digestibility, a high consistency in water, and a controlled feeding regime (TACON & FORSTER, 2003).

There is much interest in the more sustainable aquaculture – agriculture linked systems that use the aquaculture wastewater for the irrigation of farmland (IAA). The nutrients and organic matter support agricultural productivity and will meliorate the soils. During percolation through soils self-purification occurs, and the infiltration water released to the reservoir will be purified.

For natural lakes with limited water exchange and with an adopted fish biocoenosis, these effects generally prohibit net cage culture, but for reservoirs private property is often given, with a very high flow through and no natural fish biocoenosis exists, thus aquaculture is seen to offer opportunities for economic development.

Additionally, aquaculture within lakes or reservoirs should be prohibited, as it is already in many countries, e.g. Chile, or at least limited to the carrying capacity of the reservoir (GUNKEL *et al.*, 2013).

Aquaculture is practiced in many countries for export, and to develop good standards for fish production, international certification such as GLOBALGAP are of high significance, which is private business certification focusing mainly on food safety standards, but too, on animal welfare, environmental protection, and social risk assessment (BOSTOCK *et al.*, 2010).

The proposed rules for good sustainable aquaculture, often referred to as “blue” or blue aquaculture, are as follows:

- No routine use of antibiotics, with the only use for bacterial infections, and with a sufficient elimination period from the fishes before they are sold.
- Water used for aquaculture must be free of cyanobacteria to avoid the accumulation of cyanotoxine in fish.
- The fish should be free of contaminants (pesticides, xenobiotica, heavy metals), which means the quality control of inflow water, feed, and cage construction.
- Use of feed with a low P content, to reduce the risk of eutrophication in the lake.
- Cultivation of native species or already introduced neozoans, but no introduction of new species, because some will escape and establish a new population.
- Sufficient water depth to avoid the accumulation of organic matter beneath the cages, e.g. by feces and feed loss.
- No excess feeding to minimize the feed loss. Use of only feed with a sufficiently high persistence in water to minimize losses.

CONCLUSION

The use of net cage culture systems for tilapia aquaculture is an inappropriate low-cost technology, because the potential for net cage emission treatment (dissolved nutrients, feed residue, and feces) is very restricted; in pond systems and raceways, wastewater treatment can be done with a simple sedimentation tanks or with secondary treatment steps by

aeration and denitrification. More advanced systems use aquaculture–agriculture linkage with wastewater used for the irrigation of farmland (IAA). In case of net cages, large planes beneath the net cages with a water pumping system to collect organic matter (feed residue, feces) enable the re-use of the wastewater in agriculture.

In Itaparica reservoir, aquaculture systems are licensed for 43,267 t y⁻¹, the actual productions amounts about 24,000 t y⁻¹ and lead already to eutrophication processes in the reservoir, especially in the bays where a reduced water exchange occur.

The site of net cages must consider the flushing rate and the theoretical water exchange time, which is normally decreased in bays of the reservoir. Additionally, licensing must be calculated for periodically occurring low water level with reduced water depth and reservoir area, otherwise eutrophication processes are triggered by the low water periods.

From an ecological perspective, net cages are not acceptable in areas with a water depth of <10 m beneath the cage, to guarantee the effective translocation and

dilution of particulate organic materials and avoid large increases in sediment beneath the cages.

The reservoir carrying capacity for aquaculture can be calculate by the P load (as sum of natural and anthropogenic phosphorus input), compared to the critical P load (given by the relationship between phosphorus and algae development), the critical P concentration in water corresponds to mesotrophic conditions with <10 µg Chl a L⁻¹. The critical P load of the Itaparica reservoir is already overcharged, and any increase of aquaculture will increase the eutrophication effects.

Feed used in aquaculture should minimize phosphorus and nitrogen content, optimize digestibility, and stability in water; additional, fish protein in feed should not be of wild fish catches.

ACKNOWLEDGMENT

The investigation was part of the Companhia HidroElétrica do São Francisco (CHESF) monitoring program in 2007–2010 by the Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE) and the “INterplay among multiple uses of water reservoirs via inNOvate coupling aquatic and Terrestrial Ecosystems” (INNOVATE) project.

The binational INNOVATE project is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and the Brazilian Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) and the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

REFERENCES

- AURELIANO, J.; LACERDA, A.; FALCÃO, D.; MARINHO, L. H.; BRITO, J. Levantamento dos sistemas de tanque-rede nos reservatórios da CHESF, em Pernambuco. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, Brazil. 17 p., 2007.
- BEVERIDGE, M. C. M. *Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact*. FAO Fisheries Technical Paper 255. FAO Rome, 131 p., 1984.
- BOSTOCK, J.; MCANDREW, B.; RICHARDS, R.; JAUNCEY, K.; TELFER, T.; LORENZEN, K.; LITTLE, D.; ROSS, L.; HANDISYDE, N.; GATWARD, I.; CORNER, R. *Aquaculture: global status and trends*. Phil. Trans. R. Soc. B 365, p. 2897-2912, 2010.
- CANONICO, G. C.; ARTHINGTON, A.; MCCRARY, J. K.; THIEME, M. L. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 15, p. 463-483, 2015.
- CHESF – COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. *Monitoramento limnológico e da produção pesqueira do reservatório de Sobradinho, subprojeto: zoneamento da piscicultura em tanques-rede*. Relatório final. CHESF Recife, outubro 2003.
- CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. *Manual de Criação de Peixes em Tanques-Rede*. Brasília: CODEVASF, 2010. 69 p.

- CONAMA. *Resolução n° 413*. Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiental, 26 de junho de 2009.
- DEV – DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN. *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*. VCH, Weinheim, Loseblattsammlung, 2015
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Fisheries and Aquaculture Department. Fisheries and Aquaculture Fact Sheets. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* [online]. Rome. Updated 22 May 2013. Available at: www.fao.org/fishery/facp/BRA/en. Cited: 13 July 2015.
- GUNKEL, G. & SOBRAL, M. *Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany*. Universitätsverlag der TU Berlin, 279 p., 2007. ISBN: 978-3-7983-2056-7.
- GUNKEL, G.; STEEMANN, J.; SOBRAL, M.C. Carrying capacity limits in net cage fish production in water reservoirs. In: GUNKEL, G.; SILVA, G. J. A.; SOBRAL, M.C. (Eds.). *Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas*. Recife: Editora Universitária UFPE, 2013. p. 99-117. ISBN 978-85-415-0259-7
- GUNKEL, G.; SEVERI, W.; LIMA, D.; MOURA, A.; CATUNDA, S.; SELGE, F. Tropical reservoir eutrophication control: Top-down or bottom-up regulation? *Int. Rev. Hydrobiol.*, subm., 2016.
- HALWART, M.; SOTO, D.; ARTHUR, J. R. *Cage aquaculture. Regional reviews and global overview*. In: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 498, 241 p., 2007.
- HERVOUET, J. M. *Hydrodynamics of free surface flows: modelling with the finite element method*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007. 360 p.
- INNOVATE. Interplay among multiple uses of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems. 2016. Available at: <http://www.innovate.tu-berlin.de/>. Cited: July 2016.
- KUBITZA, F. *Autrição e alimentação de Tilápias – Parte1*. Panorama da Aquicultura, 3/4, p. 42-50, 1999.
- KUBITZA, F. Status and trends for tilapia aquaculture in Brazil. *Panorama da Aquicultura*, v. 124, mar./abr., p. 1-6, 2011.
- MARTIN, C. W.; VALENTINE, M. M.; VALENTINE, J. F. Competitive Interactions between Invasive Nile Tilapia and Native Fish: The Potential for Altered Trophic Exchange and Modification of Food Webs. *PLoS ONE*, v. 5, 12, e14395, 2010. doi: 10.1371/journal.pone.0014395.
- MATTA, E.; ÖZGEN, I.; HINKELMANN, R.; CABRAL, J.; CANDEIAS, A.L. Simulation of wind-induced flow and transport in a Brazilian bay. In: *Hydro-Engineering for Environmental Challenges*. Proc. 11th International Conference on Hydroscience & Engineering. ICHE 2014, Bundesanstalt für Wasserbau., 2014. p. 233- 240. ISBN 978-3-939230-32-8
- OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Eutrophication of Waters – Monitoring, Assessment and Control*. Paris: OECD, 1982. 154 p.
- RICO, A.; MCDONOUGH, S.; MATSER, A.; KHATIKARN, J.; SATAPORNVANIT, K.; NOGUEIRA, A. J. A.; SOARES, A. M. V. M.; DOMINGUES, I.; VAN DEN BRINK, P. J. Use, fate and ecological risks of antibiotics applied in tilapia cage farming in Thailand. *Environmental Pollution*, v. 191, p. 8-16, 2014.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, v. 25, p. 341-350, 1991.
- SAMPAIO, J. M. C. & BRAGA, L. G. T. Cultivo de tilápia em tanques-rede na barragem do Ribeirão de Saloméa – Floresta Azuk – Bahia. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 6, n. 2, p. 42-52, 2005.

SCOTT, P. C. Regional and national factors relevant to site selection for aquaculture in the Federative Republic of Brazil. In: ROSS, L.G.; TELFER, T.C.; FALCONER, L.; SOTO, D.; AGUILAR-MANJARREZ, J. (Eds.) *Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture*. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Stirling, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 46 p. Includes a CD-ROM containing the full document. 2013. 282 p. ISBN: 9789251075838.

SELGE, F.; MATTA, E.; GUNKEL, G.; HINKELMANN, R. Nutrient load concept- reservoir vs. bay impacts: A case study from a semi-arid watershed. *Proceedings of 17th IWA International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication*. Berlin, 2015.

SNOW, A.; ANDERSON, B.; WOOTTON, B. Flow-through land-based aquaculture wastewater and its treatment in subsurface flow constructed wetlands. *Environmental Reviews*, v. 20, p. 54-69, 2012.

SUHET, M. I. & SCHOCKEN-ITURRINO, R. P. Physical and chemical water parameter and *Streptococcus* spp. occurrence in intensive tilapia farming in the State of Espírito Santa, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá*, v. 35, p. 29-35, 2013.

TACON, A. G. J. & FORSTER, I. P. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, v. 226, p. 181-189, 2003.

XU, J.; LUI, Y.; CUI, S.; MIAO, X. Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision. *Aquacultural Engineering*, v. 35, 207-217, 2006.

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA AO LONGO DA TRANSPOSIÇÃO DE UM CANAL DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO, BRASIL

DIAGNOSIS OF WATER QUALITY ALONG A CONCRETE CANAL:
A CASE STUDY ABOUT SERTÃO ALAGOANO CANAL, BRAZIL

Karina Waleska Lopes Rossiter

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brasil.

Mohand Benachour

Professor do do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na UFPE – Recife (PE), Brasil.

Elena Matta

Doutoranda na Universidade Técnica de Berlim – Berlim, Alemanha.

Maria Manuela Queiroz Martins Mantero Morais

Professora do Instituto de Ciências da Terra (ICT) da Universidade de Évora – Évora, Portugal.

Silvana Carvalho de Sousa Calado

Professora do Departamento de Engenharia Química na UFPE – Recife (PE), Brasil.

Günter Gunkel

Professor titular da Universidade Técnica de Berlim – Berlim, Alemanha.

Endereço para correspondência:

Karina Waleska Lopes Rossiter – Avenida Hélio Falcão, 355, apto. 1.503 – Boa Viagem – CEP 51021-070 – Recife (PE), Brasil – E-mail: karinawlr@hotmail.com

RESUMO

Para atender à demanda, a transferência de água de rios por canal é uma prática comum no Nordeste brasileiro. O Canal do Sertão Alagoano capta água do Rio São Francisco (no reservatório Apolônio Sales) para abastecer municípios do estado do Alagoas. O objetivo deste trabalho foi analisar a evolução de parâmetros físico-químicos da água (temperatura, pH, turbidez, condutividade, dureza, sulfatos, cloretos, nitrogênio total e fósforo total) ao longo dos 29 km iniciais. Foram realizadas duas coletas no período seco em 10 pontos. Por intermédio do teste não paramétrico Mann-Whitney, evidenciou-se que temporalmente as duas coletas são significativamente diferentes para todos os parâmetros, mesmo tendo sido ambas desenvolvidas no período seco. Longitudinalmente, nas duas coletas, temperatura, pH e condutividade foram significativamente distintos entre o início e o fim dos 29 km, apresentando tendência crescente nos valores. Em termos de qualidade, conforme a Resolução n.º 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), a água do canal apresentou valores da classe 1, com exceção do fósforo total.

Palavras-chave: qualidade de água; transposição de águas; recursos hídricos; Canal do Sertão Alagoano.

ABSTRACT

To provide the water demand, river water transfer per canal is a common practice in the Brazilian northeast. The Sertão Alagoano Canal takes water from the São Francisco river, into the Apolônio Sales reservoir, to supply towns of the state of Alagoas. This research was designed to analyze the evolution of physico-chemical parameters (temperature, pH, turbidity, conductivity, hardness, sulfates, chlorides, total nitrogen and total phosphorus) over the initial 29 km of the canal. Samples were taken during the dry season at 10 points. Through the non-parametric Mann-Whitney test, it became clear that the two samples are significantly different for all parameters, even though both were held in the dry season. As for the longitudinal aspect, in both collections, temperature, pH and conductivity parameters were significantly different between the beginning and the end of the initial 29 km, with an increasing trend in the concentrations. Considering the quality, under Resolution 357/2005 of National Council of Environment (Conama), the water from the canal presented values within the quality class 1, with the exception of total phosphorus.

Keywords: water quality; water transposition; water resources; Sertão Alagoano Canal.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso escasso em regiões semiáridas e, em função dos diversos usos requeridos, a gestão dos recursos hídricos não consiste em uma tarefa fácil. Além do aspecto quantitativo da água, sua qualidade também deve ser considerada, pois influencia diretamente na saúde pública e na qualidade de vida da população da região (FERREIRA, 2010; SALATI & LEMOS, 2006).

Entre os múltiplos usos dos recursos hídricos no Brasil, a geração de energia elétrica é bastante difundida no país. Para tal, foram construídas no Nordeste algumas hidroelétricas ao longo do Rio São Francisco, sendo necessária também a construção de barragens e reservatórios. Um desses reservatórios é o de Apolônio Sales, com volume útil de $180 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água (PRUSKY *et al.*, 2011).

Segundo um levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) desde 2012, observa-se a gradativa e intensa redução nos índices pluviométricos em algumas regiões do país, ocasionando um período seco mais crítico e prolongado, sendo o semiárido nordestino uma das áreas mais atingidas. Características naturais como altas temperaturas, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração, além de baixos índices pluviométricos (inferiores a 800 mm), resultam em rios com baixa disponibilidade hídrica e até intermitentes (ANA, 2014; ROSADO & MORAIS, 2010).

De acordo com Rossiter *et al.* (2014), a preocupação com água não se refere apenas a sua quantidade, mas também à qualidade adequada ao seu uso. O monitoramento regular da qualidade da água é necessário para garantir as condições de uso, para fins industriais, domésticos ou da agricultura (POONAM *et al.*, 2013).

A transposição da água entre bacias hidrográficas constitui um método de manejo da água empregado em muitos países, porém é conflitante. Os problemas mais graves são: perda de água na bacia original, qualidade insuficiente da água no rio e no reservatório efluente, mudança da qualidade da água no canal

de transporte, efeitos de bombeamento nos animais e microrganismos da água e invasão de espécies não nativas (GUNKEL *et al.*, 2015).

Em canais abertos, como no Nordeste do Brasil, há grandes problemas com as reações físico-químicas e contaminações, em função da alta temperatura e incidência solar durante todo o ano. Essas reações são:

- aquecimento por alta incidência solar;
- alta evaporação da água em razão das elevadas temperaturas;
- transferência dos íons do concreto (cálcio, carbonato) para a água, causando aumento do pH;
- produção primária das algas flutuantes e algas filamentosas nas superfícies;
- crescimento dos animais aquáticos como moluscos e mosquitos.

Ocorre ainda a contaminação no canal por fezes de pássaros e coliformes (que se reproduzem, situação agravada mais ainda pela alta temperatura) e pela morte de animais pequenos, como rãs, ratos e coelhos que ao caírem no canal não conseguem dele sair.

O conhecimento de possíveis alterações na qualidade da água em projetos em que esta é transportada através de longos canais é do interesse não apenas da comunidade científica e da sociedade, mas também do governo, para que ações gerenciais possam ser planejadas. Vale ressaltar que, na pesquisa bibliográfica realizada, não foram evidenciados trabalhos em canais de estrutura semelhante ao Canal do Sertão Alagoano, para que servissem de referência.

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a existência de alterações significativas nas características físico-químicas da água quando transposta ao longo de um canal de concreto, tendo como base os resultados obtidos no Canal do Sertão Alagoano durante o período seco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Para aumentar a disponibilidade de água no Nordeste brasileiro, o governo federal elaborou alguns projetos, sendo um deles o Canal do Sertão Alagoano. Segundo a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do Rio São Francisco e do Parnaíba (Codevasf), essa é a maior obra de infraestrutura hídrica do estado de Alagoas, captando água no reservatório de Apolônio Sales, para abastecimento de municípios entre Delmiro Gouveia e Arapiraca, beneficiando 42 municípios e mais de um milhão de alagoanos. Sua localização é descrita na Figura 1.

O empreendimento, com extensão total projetada de 250 km, está em construção desde 1991, e em maio de 2014, 65 km estavam concluídos. Em novembro

de 2015 foi concluído o trecho III, chegando o canal a 93 km. A previsão de conclusão da obra não foi divulgada oficialmente pelo Ministério da Integração. O canal aduzirá $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em sua fase final, tendo já recebido da ANA a outorga prévia de $3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a primeira etapa (FAIO & SORGATO, 2008; BRASIL; 2015).

A água é captada do reservatório de Apolônio Sales (latitude $9^{\circ}20'36.67''\text{S}$, longitude $38^{\circ}12'03.91''\text{O}$), em uma estação elevatória de água bruta (latitude $9^{\circ}20'22.43''\text{S}$, longitude $38^{\circ}11'36.79''\text{O}$) (ver Figura 2A). Da estação elevatória a água é bombeada até uma estrutura de transição por meio de uma adutora de recalque, com 1.700 m de comprimento. Dessa estrutura a água é levada por uma adutora de gravidade,

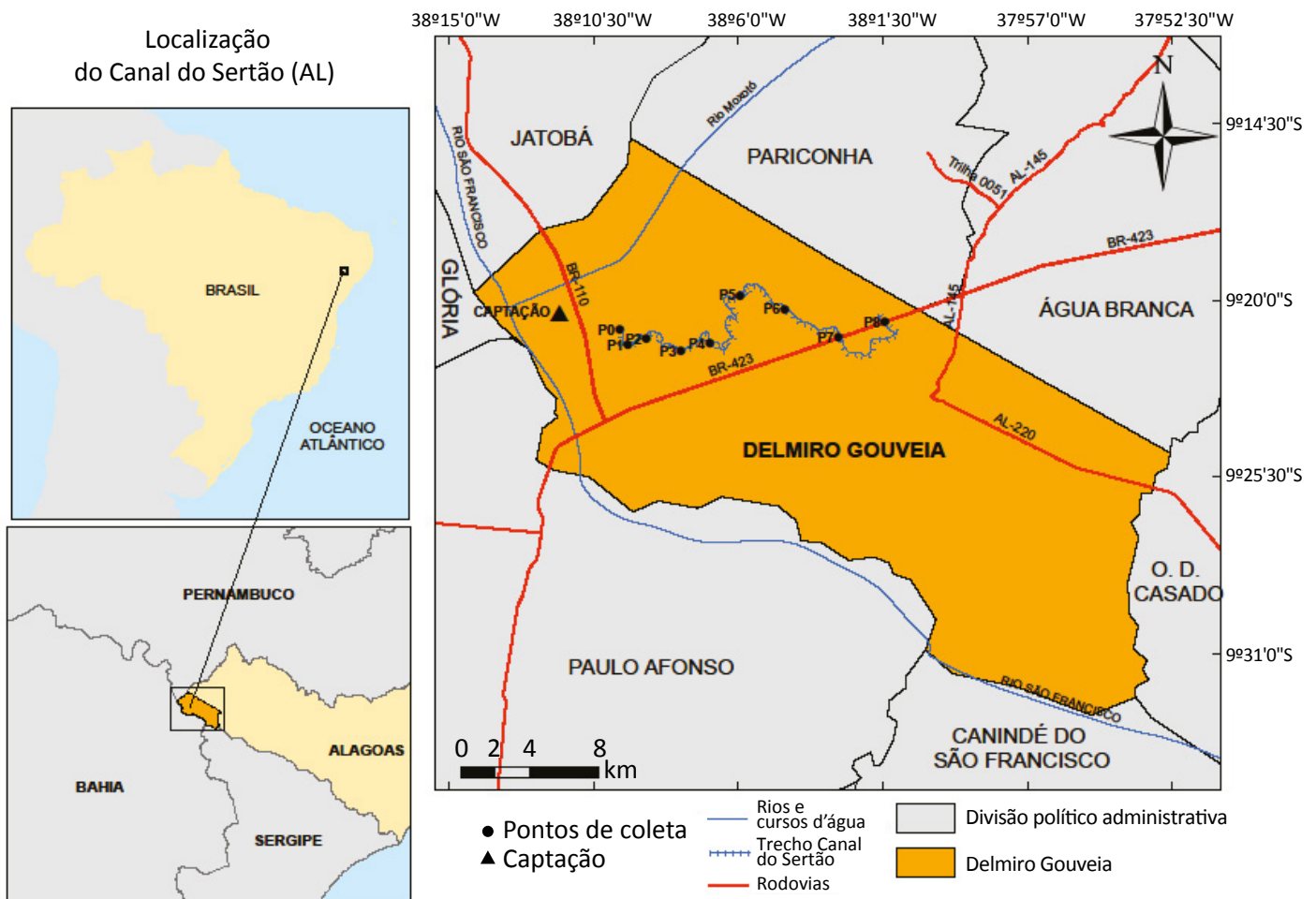


Figura 1 – Localização do Canal do Sertão Alagoano e dos pontos de coleta, adaptada de IBGE (2016).

com 2.100 m de comprimento, em tubos de aço até a estrutura final de transição, sendo este o km 0 do canal (latitude 9°20'54.97"S, longitude 38°09'41.86"O) (Figura 2B).

A partir do início (km 0) o canal segue sempre por gravidade, obedecendo um desnível de 0,12 m por km. O canal apresenta na maior parte da sua extensão estrutura trapezoidal com dimensões de: altura 5,30 m, base maior 15,20 m e base menor 3,30 m, sendo alguns trechos retangulares (6,60 m de altura x 4,15 m de largura), conforme Figura 3A. Ao longo do canal existem obras especiais, tais como: comportas, pontes-canal, travessias para pedestres, travessias para veículos, travessias sob

rodovias, pontos de derivação para abastecimento humano e pontos de derivação para perímetros de irrigação. As Figuras 3B e 3C mostram alguns trechos do canal.

Atualmente a vazão de bombeamento é determinada pela variação na demanda e gerenciada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) do estado do Alagoas, sendo em média $0,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ao fim do projeto serão um total de 12 bombas em regime de funcionamento, que permitirão vazão total de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (BRASIL, 2014). Nos trabalhos de campo para as coletas das amostras foi evidenciada a retirada ilegal de água, sobretudo por tubulação, conforme Figura 3C.



Figura 2 – (A) Reservatório de Apolônio Sales e estação elevatória; (B) início do canal: km 0.

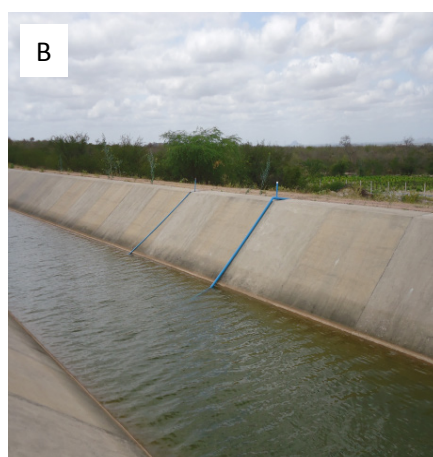


Figura 3 – (A) Visão da estrutura trapezoidal e retangular do canal; (B) visão geral de um trecho; (C) trecho do canal na rodovia BR-432 com operação de caminhão pipa para abastecimento público.

Metodologia

Após visita de reconhecimento da área, foram definidos 10 pontos de coleta, abrangendo a área de captação (Figura 2A) e os 29 km iniciais do canal, conforme descritos na Tabela 1.

A primeira coleta foi realizada de 25 a 27 de maio, e a segunda, de 22 a 24 de setembro de 2014, ambos os períodos considerados secos. Contudo houve maior precipitação nos dias anteriores à primeira coleta comparativamente com a segunda, como pode ser visualizado na Figura 4.

As amostras de água foram coletadas na superfície em frascos plásticos, sendo estes previamente lavados com água do local no momento da coleta, e conservadas a 4°C. Os parâmetros de temperatura, pH e condutividade elétrica foram analisados *in loco*, por intermédio de uma sonda multiparamétrica. Os demais parâmetros — fósforo total, nitrogênio total, dureza total, cloretos, sulfatos e turbidez — foram analisados no Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelas metodologias especificadas no *Standard methods for the examination of wa-*

Tabela 1 – Pontos de coleta no Canal do Sertão Alagoano.

Ponto de coleta	Captação	PO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Referencial espacial (km)	-4	0	1	3	6	11	15	20	23	29
Tempo de residência (dias)	0	0	0,4	1,3	2,6	4,8	6,5	8,7	10	12,6

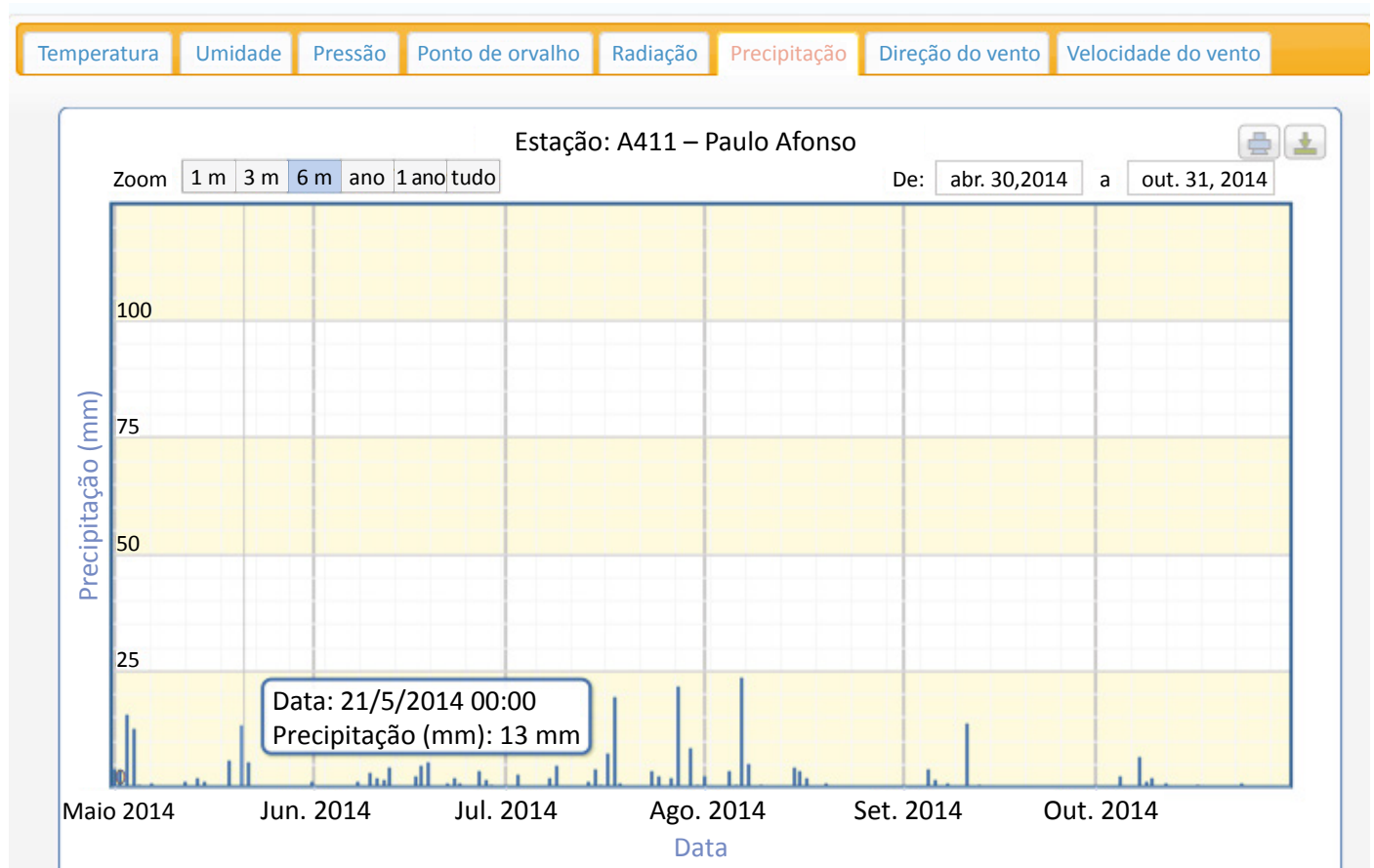


Figura 4 – Precipitação diária da estação de monitoramento de Paulo Afonso (INMET, 2016).

ter and wastewater, editado pela American Public Health Association (APHA, 2005).

Os resultados das duas coletas de cada parâmetro foram reportados em gráficos e se procedeu a uma avaliação, levando em conta os aspectos temporal (tempo decorrido entre as duas coletas) e espacial (perfil ao longo do canal, com o distanciamento do marco zero). Em seguida, os resultados de cada coleta foram tratados estatisticamente pela aplicação do teste não paramétrico de Mann-Whitney, com o objetivo de verificar para cada parâmetro analisado diferenças significativas entre as condições no início do canal e no fim, bem como se houve diferença entre as duas coletas realizadas no período seco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultados dos parâmetros físico-químicos das análises em amostras de água ao longo do canal para as duas coletas encontram-se representados graficamente nas Figuras 5 e 6.

O incremento da temperatura de 26 até 29°C depende da insolação, da umidade do ar e do vento. A maior diferença entre a primeira e a segunda coleta foi de 1°C no ponto 2 (3 km), contudo nenhum valor de temperatura foi maior que 29°C, o que se considera normal para as temperaturas típicas da região.

A turbidez apresentou maiores valores na primeira coleta para todos os pontos. Essa constatação pode estar relacionada a ocorrência de precipitação nos dias anteriores. Verifica-se na Figura 4 que no mês de maio choveu quatro dias antes da coleta. O contrário aconteceu em setembro; a pouca chuva que houve ocorreu no início do mês, sendo a coleta apenas no dia 22 do referido mês. Durante as chuvas o canal recebe os aportes dos sedimentos ao redor, pois não há nenhum tipo de proteção na borda do canal (ver Figura 3B), e com isso a quantidade de sólidos em suspensão aumenta, o que leva também ao aumento da turbidez.

O parâmetro de pH indicou tendência espacial de crescimento, sendo afetado significativamente pelo material de concreto do canal. O pH elevou-se de condições neutras (pH ~7,0) a condições alcalinas, com valor de 9,2 no 28 km. Para pH acima de 9,5 podem ocorrer reações tóxicas.

O teste de Mann-Whitney é usado para testar se duas amostras independentes foram retiradas de populações com médias iguais, fazendo uma comparação entre suas variáveis. As duas amostras devem ser aleatórias, e as observações, independentes, tanto entre quanto nas amostras. A aplicação das técnicas estatísticas não paramétricas não exige suposições quanto à distribuição da variável populacional. Foi adotado o nível de significância (α) igual a 0,05, e para valores de $p \leq 0,05$ as amostras são consideradas significativamente diferentes. As análises estatísticas foram efetuadas pelo programa IBM SPSS 19.

A condutividade também demonstrou tendência de crescimento, mas em uma faixa menor, de 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. O aumento da condutividade é um efeito da corrosão do concreto. Segundo Von Sperling (2005), leva-se em conta para ambientes impactados condutividade superior a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Como todos os resultados de condutividade em ambas as coletas foram menores, por esse parâmetro a água do canal sugere boa qualidade.

Os parâmetros de dureza (Figura 5E) e sulfato (Figura 5F) não apontaram tendência clara, contudo foram maiores na segunda coleta. Isso pode estar relacionado com a menor quantidade de água no canal na segunda coleta, em função da menor precipitação nos dias anteriores, tendo como consequência o efeito de maior concentração de sais.

Em relação ao cloreto (Figura 6A), com exceção dos valores registrados no ponto P1 (1 km) da segunda coleta, todos os demais valores foram praticamente estáveis. Esse pico de valor pode ser atribuído a alguma fonte pontual, pois nesse local há um número considerável de pequenos agricultores próximo ao canal.

As concentrações de nitrogênio total (Figura 6B) foram entre 0,05 e 0,15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na primeira coleta e 0,29 e 0,37 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na segunda coleta, valores considerados como concentrações moderadas, sendo os da segunda coleta mais elevados. Esse fato pode também ser consequência do menor volume de água no Rio São Francisco na segunda coleta, em função da menor precipitação.

As concentrações do fósforo total (Figura 6C) em sua maioria foram próximas ou menores que $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, com exceção do km 1 e do km 23 na segunda coleta, o que

pode estar ligado à contaminação externa. Verifica-se que todos os valores da segunda coleta foram próximos ou superiores aos da primeira coleta, o que é possível de ser

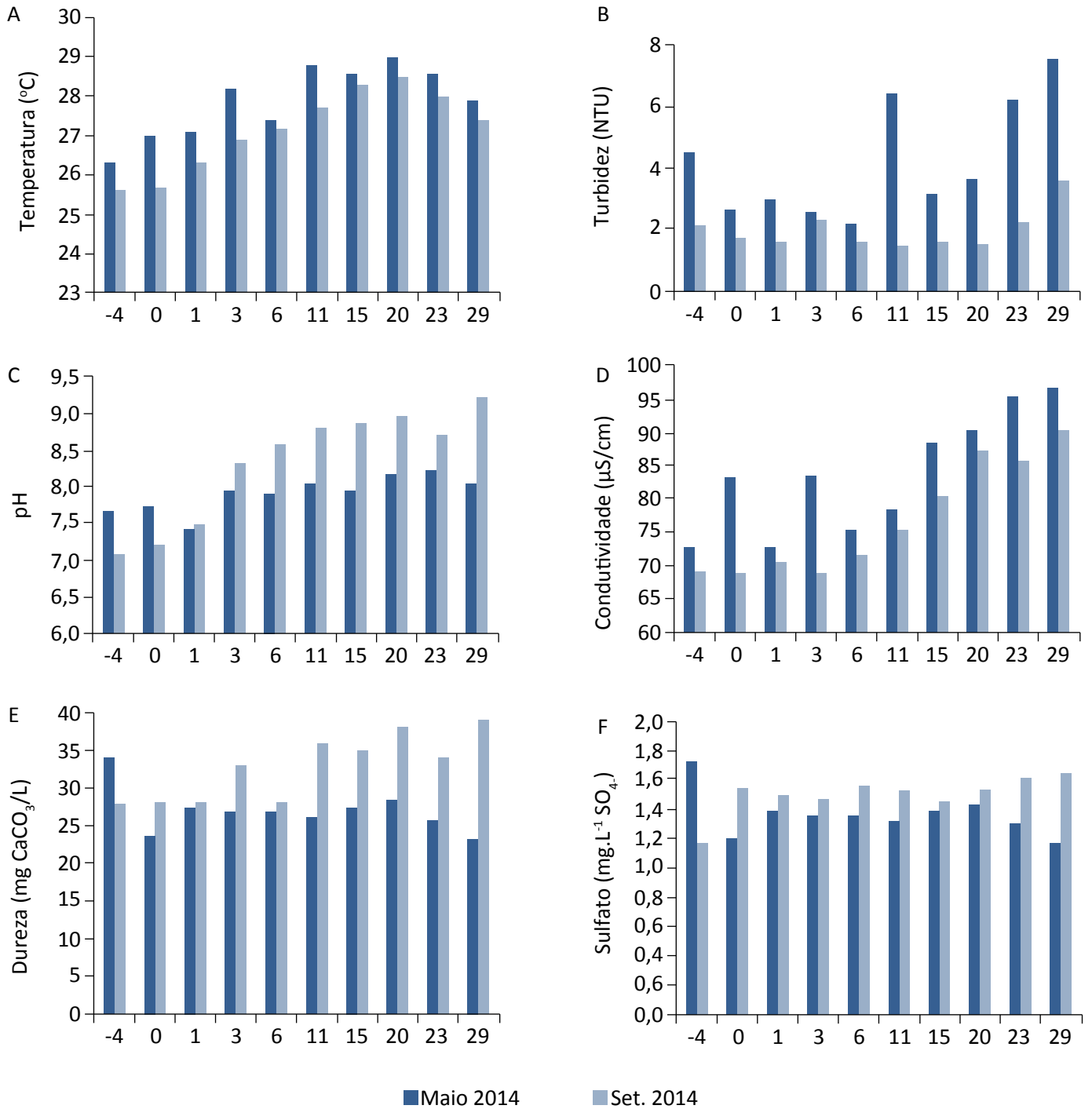


Figura 5 – Evolução das parâmetros de (A) temperatura, (B) turbidez, (C) pH, (D) condutividade, (E) dureza total e (F) sulfato ao longo do Canal do Sertão Alagoano para as duas coletas estudadas (maio e setembro de 2014, ambas em período seco).

explicado também pela menor precipitação nessa época. A relação nitrogênio/fósforo com índices entre 1 e valores bem menores que 7 representam limitação da produção primária com nitrogênio, com grande risco de desenvolvimento de algas azul-verde e de cianobactérias.

Avaliando tais números sob o aspecto longitudinal, ou seja, como os resultados evoluíram ao longo do eixo do canal, observa-se que a maioria dos parâmetros não apresentou tendência específica de aumento ou decréscimo. A exceção foram os parâmetros pH e condutividade, já discutido anteriormente, que apresentaram tendência de leve crescimento longitudinal.

Após a avaliação dos gráficos, foram realizados testes estatísticos com os dados obtidos para evidenciar se havia diferença significativa entre eles.

Pela aplicação do teste de Mann-Whitney foi comprovado em termos estatísticos que temporalmente as duas coletas foram significativamente diferentes para todos os parâmetros analisados: temperatura ($p < 0,05$); turbidez ($p < 0,01$); pH ($p < 0,05$); condutividade ($p < 0,05$); dureza ($p < 0,001$); sulfatos ($p < 0,001$); cloretos ($p < 0,01$); nitrogênio total ($p < 0,001$); e fósforo total ($p < 0,01$). Isso confirma a importância dos testes estatísticos para evidenciar a variabilidade nas características da água, no mesmo período seco no canal, fato que não ficou claro ao analisar apenas os gráficos dos dados. Tais diferenças podem estar relacionadas às condições meteorológicas observadas em cada uma das coletas, à introdução de água pluvial ou à diminuição de água no canal resultante, causada por retiradas ilegais ou pelos diferentes volumes de água descarregados.

A alta taxa de evaporação também é um fator que influencia na qualidade da água. A área do canal estudada corresponde a 174 mil m^2 (comprimento de 29 km, largura de 6 m), e a evaporação da região é próxima a 2 mil mm por ano, ou seja, cerca de 6 mm por dia, o que representa perda de volume diário de 1.044 m^3 por evaporação. A vazão média do canal é de 0,78 $m^3.s^{-1}$, isto é, 67.392 $m^3.d^{-1}$. Se dividirmos o volume perdido pela evaporação pelo volume total até o km 29, teremos perda diária de 1,54% do volume de água, o que é bastante significativo para a qualidade da água, manifestando-se, por exemplo, no aumento dos valores de condutividade.

Essas constatações conduziram à necessidade de verificar individualmente para cada coleta como é que os parâmetros evoluem ao longo do canal. Dessa forma, para testar

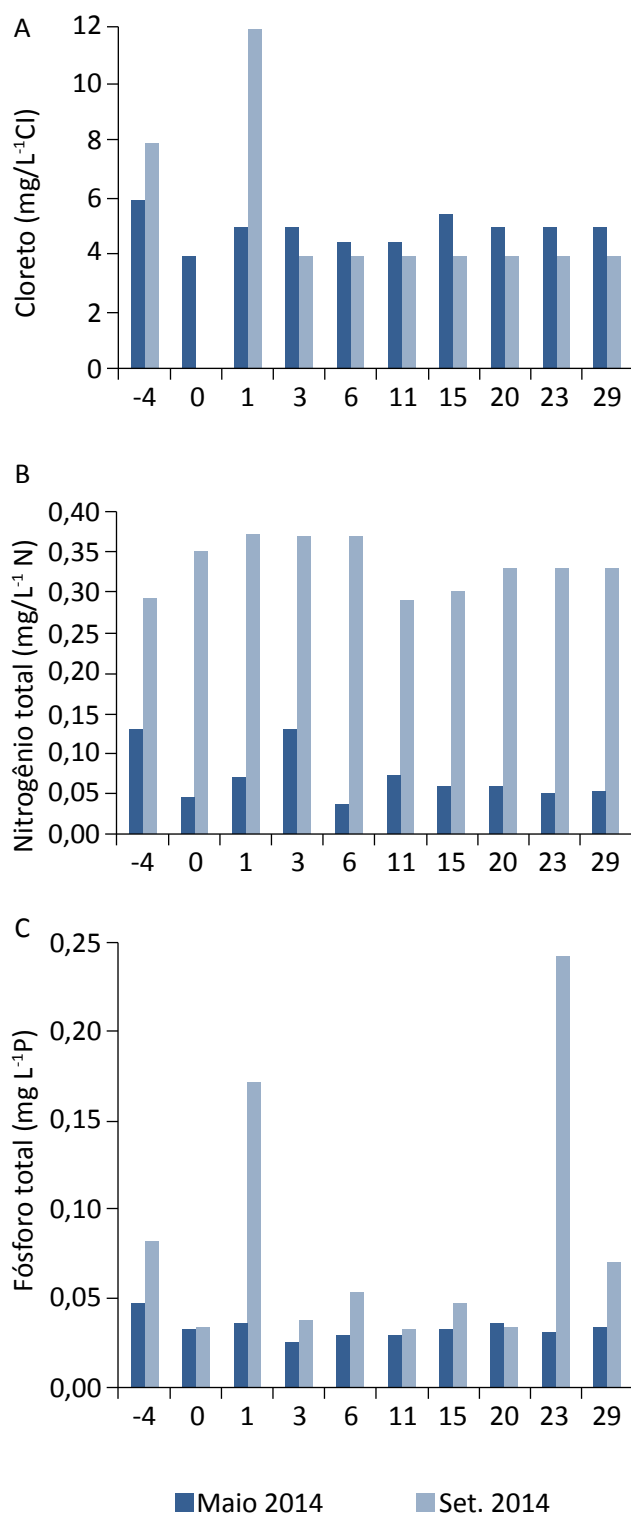


Figura 6 – Evolução dos parâmetros de (A) cloreto, (B) nitrogênio total e (C) fósforo total ao longo do Canal do Sertão Alagoano para as duas coletas estudadas (maio e setembro de 2014, ambas em período seco).

a existência de diferenças expressivas entre as condições no início do canal e no fim dos 29 km, dividiram-se os resultados em dois grupos: os primeiros seis km (primeiros quatro pontos); e os últimos 8 km (3 últimos pontos). Além disso, foi aplicado o teste de Mann-Whitney, eliminando as condições intermediárias que iriam dificultar a análise das condições extremas (início *versus* condições a 29 km).

Longitudinalmente, para a primeira coleta (maio de 2014), o resultado da aplicação do teste de Mann-Whitney comprovou que as condições são significativamente diferentes para os parâmetros: temperatura ($p < 0,05$); condutividade ($p < 0,05$); pH ($p < 0,05$); e turbidez ($p < 0,05$). Para a segunda coleta (setembro de 2014), o resultado da aplicação do teste de Mann-Whitney confirmou que as condições são significativamente diferentes para os parâmetros: temperatura ($p < 0,05$); pH ($p < 0,05$); condutividade ($p < 0,05$); e dureza ($p < 0,05$).

Assim, em termos longitudinais apenas os parâmetros temperatura, pH e condutividade foram significativamente diferentes em ambas as coletas. Parâmetros

que, além da influência do concreto, indicam o efeito da evaporação por conta do aumento da temperatura, que por sua vez conduz ao aumento do pH e da condutividade (maior quantidade de sais dissolvidos). A mesma situação não foi observada relativamente em relação a cloretos, sulfatos, nitrogênio total e fósforo total, que não demonstraram diferenças significativas entre o início e os 29 km de canal em nenhuma das coletas estudadas. Vale ressaltar que, para o aspecto longitudinal, a avaliação apenas dos perfis dos gráficos também evidenciaram que os parâmetros de pH e condutividade apresentam variabilidade ao longo do eixo do canal.

Tomando ainda como base os padrões de qualidade da Resolução n.º 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005) relativos aos parâmetros desta pesquisa — pH, turbidez, fósforo total, cloreto e sulfato —, todos os resultados nas duas coletas atenderam à especificação da classe 1, com exceção do fósforo total, que exibiu valores de enquadramento relativos à classe 4. Isso significa que a água desse canal de transposição pode produzir condições eutróficas nos açúdes e reservatórios que venham a receber sua água.

CONCLUSÃO

Quanto ao aspecto temporal, as coletas realizadas em período seco, nos meses de maio e setembro de 2014, apresentaram diferenças significativas para todos os parâmetros, utilizando o teste não paramétrico de Mann-Whitney, para o nível de significância de 0,05, o que evidencia que na mesma época climática os resultados da qualidade da água para a região podem ser diferentes. Quando avaliadas as coletas separadamente, considerando o aspecto longitudinal, os parâmetros físico-químicos que exibiram variação significativa em ambas as coletas foram: temperatura, pH e condutividade. A condutividade e o pH também apontaram tendência de crescimento longitudinal, sendo isso influência do concreto com a água.

Para os nutrientes, o nitrogênio total da segunda coleta foi bem superior e o fósforo indicou comportamento mais estável, levando a uma relação nitrogênio/fósforo que representou limitação da produção primária com nitrogênio. Esse fator leva a um grande risco de desenvolvimento de algas azul-verde e de cianobactérias, sendo recomendáveis estudos posteriores sobre algas e detritos dentro do canal.

Ressalta-se que a água ao longo de todo o canal apresentou resultados que a levariam ao enquadramento na classe 1 pela Resolução do Conama n.º 357/2005, com exceção do parâmetro fósforo total. Os resultados obtidos são preliminares, sendo fundamental efetuar um monitoramento que abranja diferentes situações meteorológicas, períodos secos e chuvosos, de forma a entender o funcionamento com mais precisão do sistema aquático artificial no canal, para com fundamentação científica se propor medidas de proteção ao ecossistema criado e à preservação do recurso da água. Vale salientar que a perda de água por evaporação chega a 1,5% por dia, significando um efeito grande para esse tipo de transposição de águas por canais abertos.

Contudo os resultados desta pesquisa, mesmo que preliminares, podem ser utilizados para a gestão de outros dois canais de transposição de água na região do Rio São Francisco, que estão em fase de anteprojeto: o Canal do Sertão Alagoano e o Canal do Sertão Baiano. Não foram encontradas pesquisas que avaliassem as alterações na qualidade de água em concreto em regiões tropicais.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Encarte especial sobre a crise hídrica. In: _____. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2014.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama n.º 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem com estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 17 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério da Integração. *10 CT: construção do Canal do Sertão Alagoano*. 2008. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=3ca08be8-9d55-48f3-9bd0-e38e84604438&groupId=10157>. Acesso em: 10 jan. 2014.
- BRASIL. Planalto da Presidência da República. *Preservação do Rio São Francisco é prioridade do governo, afirma Dilma*. 2015. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br/assunto/canal-do-sertao-alagoano/>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- FAIO, D. & SORGATO, J. Canal do Sertão Alagoano: o custo da energia elétrica. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., Salvador, 2008. *Anais...* Salvador, 2008.
- FERREIRA, B. A região semi-árida nordestina: utilização dos dados SRTM para mapeamento geomorfológico de parte dos municípios de Jatobá Petrolândia e Tacaratu, Sub-Médio São Francisco, PE. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 143-158, 2010.
- GUNKEL, G.; LIMA, D.; SELGE, F.; SOBRAL, M.; CALADO, S. Aquatic ecosystem services of reservoir in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. *River Basin Management VIII*, v. 197, p. 187-200, 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa físico dos estados de Alagoas e Sergipe*. 2016. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_estaduais_e_distrito_federal/fisico/al_se_fisico700k_2012.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2016.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Estações automáticas: gráficos*. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- POONAM, T.; TANUSHREE, B.; SUKALYAN, C. Water quality indices – important tools for water quality assessment: a review. *International Journal of Advanced Chemical Technology*, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2013.
- PRUSKY, F. F.; RODRIGUEZ, R. G.; SOUZA, J. F.; SILVA, B. M. B.; SARAIVA, I. S. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 31, jan. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000100007>.
- ROSADO, J. & MORAIS, M. M. Estratégias de gestão da água para combater a escassez em regiões semi-áridas e mediterrânicas: diferenças e similaridades. *Sustentabilidade em Debate*, número especial “Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas”, Brasília, 2010.
- ROSSITER, K. W. L.; VASCONCELOS, I. E.; CALADO, S. Evaluation of water body classification by the government: an example from the Moxotó River. In: THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION: WATERSHED AND RIVER BASIN MANAGEMENT, 13, 2014. *Anais...*, São Francisco, 2014.
- SALATI, E. & LEMOS, H. M. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

ANNUAL RAINFALL VARIABILITY AND ECONOMICAL DEPENDENCY OF SMALLHOLDER AGRICULTURE IN THE SEMI-ARID NORTHEASTERN REGION OF BRAZIL

VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E A DEPENDÊNCIA ECONÔMICA DE PEQUENOS AGRICULTORES NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

Florian Selge

Ph.D., INNOVATE Project, Technical University of Berlin, Department of Water Quality Control– Berlin, Germany.

Heinrich Hagel

Ph.D., INNOVATE Project, University of Hohenheim, Computer Applications and Business Management in Agriculture – Stuttgart, Germany.

Günter Gunkel

Assistant Professor, Vice-leader INNOVATE Project, Technical University of Berlin, Department of Water Quality Control, – Berlin, Germany.

Reiner Doluschitz

Professor, INNOVATE Project, University of Hohenheim, Computer Applications and Business Management in Agriculture – Stuttgart, Germany.

Corresponding address:

Florian Selge – Straße des 17. Juni 135, 10623 – Berlin, Germany
E-mail: florian.selge@tu-berlin.de

ABSTRACT

In the semi-arid region of Northeast Brazil, water resources are scarce and rainfall often has high temporal and spatial variability. Despite regional climate trends, no significant rainfall change could be detected by linear regressions in the Pajeú River watershed between 1912 and 2013. This study focused on the identification of regional impacts on agriculture in the form of crop yields, livestock, and animal products, through the annual rainfall variability. Yields of temporary crops were correlated to the annual rainfall departure, whereas permanent crops were less susceptible to droughts, but had a negative effect on the memory after the dry years. In the livestock sector, farmers reacted to the consequences of droughts and increased stocks of smaller animals with faster recovery rates, and also implemented apiculture. The results show a high vulnerability of agricultural production and regional income due to the low adaptation to local climate conditions. Hence, agricultural practices and water management should be further improved to fight against crucial economic depressions during droughts.

Keywords: agricultural production; livestock; Pajeú River watershed; rainfall; water scarcity.

RESUMO

A região semiárida do Nordeste do Brasil apresenta escassez de recursos hídricos e grande variação temporal e espacial da precipitação. Entretanto, apesar da tendência climática regional, não foi detectada variação significativa de precipitações na bacia hidrográfica do Rio Pajeú entre 1912 e 2013. Este estudo teve como foco a identificação de impactos regionais na produção agropecuária provocados pela variação anual da precipitação. A produção de lavouras temporárias apresentou forte relação com a precipitação anual. A produção de lavouras permanentes apresentou um efeito negativo após anos secos. Os criadores de animais se adaptaram aos efeitos da seca por meio do aumento da criação de animais de menor porte e da implementação da apicultura. Os resultados demonstraram alta vulnerabilidade da produção em razão do baixo grau de adaptação às condições climáticas. As práticas agrícolas e o manejo da água devem ser melhorados no intuito de combater os efeitos econômicos negativos da seca.

Palavras-chave: agricultura; pecuária; bacia hidrográfica do Rio Pajeú; chuva; escassez de água.

INTRODUCTION

Semi-arid regions are characterized by low annual rainfall and suffer under severe droughts which occur rather frequently and where water is really scarce (MONTENEGRO & RAGAB, 2012). The high climate variability and extreme weather conditions enhance the vulnerability of natural resources, threatening world populations with an increasing trend of decreasing water availability (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

Societies, especially in semi-arid and developing regions, are specifically vulnerable to limitation of water resources and therefore, to changes of climate conditions. In addition, a dense population depending on few short-term options to earn their livelihood increases the anthropogenic pressure on water availability (KROL & BRONSTERT, 2007; SIMÕES *et al.*, 2010; MONTENEGRO & RAGAB, 2012).

Although climate conditions are harsh in the semi-arid northeastern region of Brazil, agriculture has an important role for the local economy and society. In Brazil, family farming accounts for about 70% of the food consumed throughout the country (SIETZ *et al.*, 2006; BURNEY *et al.*, 2014). Given that water storage in soils as ground water or interflow water is limited in this region due to wide distributed crystalline rock formations and shallow soils, water availability is mainly provided by spatial and temporal distributed annual rainfall. However, other measures of water storage such as subsurface dams, small reservoirs, and cisterns are widespread in the region (CIRILO, 2008).

Traditional agriculture consists of extensive livestock breeding and (partly irrigated) cultivation of subsistence crops along the river margins or in the form of recession agriculture on the borders of temporary reservoirs (ANTONINO *et al.*, 2005; SIETZ *et al.*, 2006). Furthermore, for life quality maintenance, agricultural expansion into less favorable areas and livestock grazing in natural areas are a common practice. This livelihood increased the pressure on natural resources and led to overgrazing, loss of natural vegetation, soil erosion, and landscape degradation with decline of crop yields (LEAL *et al.*, 2005; SIETZ *et al.*, 2006). More recently, large irrigation projects are developed along the perennial São Francisco river and around larger reservoirs.

The strong negative economical and social impacts were recently observed in the most severe drought conditions since several decades from 2010 until 2013 in entire Brazil, but extremely in the semi-arid northeastern region of Brazil (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014). Especially in a scenario of global warming and changing rainfall patterns, agricultural production in semi-arid regions is at high risk (TONI & HOLANDA, 2008). As climate variability and future changes affect especially non-irrigated agriculture, small subsistence farmers highly depend on water availability and are prone to economic depression during the years of drought, or else the death of their livestock due to thirst (KROL *et al.*, 2006; LINDOSO *et al.*, 2014). Due to the severity of the problem, a profound analysis of the local impact of rainfall on agricultural production and the livelihood of the subsistence farmers should be carried out and the results used for other semi-arid regions.

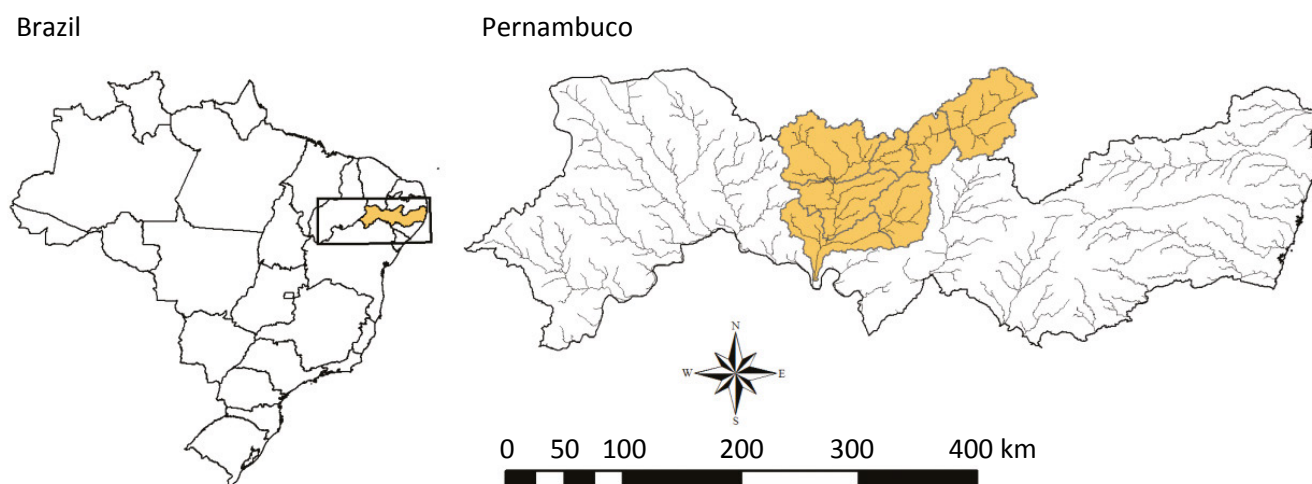
MATERIALS AND METHODS

The study is conducted for the watershed of the Pajeú River in the semi-arid region of northeastern Brazil. It is the largest watershed in Pernambuco state and is located between 7°16'20" S to 8° 56'01" S and 36°59'00" W to 38°57'45" W. Its northern boundaries are identical to the state borders of Paraíba and Ceará, and it belongs to the lower-central watershed of the São Francisco river (Figure 1).

The hydrological basin of the Pajeú River with 22 municipalities covers an area of 16,686 km², about 2.4% of the total Caatinga biome or 17% of the state territory.

The watershed has a mean altitude between 300 and 500 m above sea level, whereas mountain ranges in the north reach up to 1,100 m above sea level.

This region is part of the drought polygon and is characterized by annual mean temperatures above 20 °C, annual rainfall less than 1,000 mm year⁻¹, and high evaporation rates ranging between 1,500 and 2,500 mm year⁻¹ (SAMPAIO, 1995). Most of the annual rainfall occurs from January to May; the rest of the year remains dry and receives only little amounts of rainfall. Frequently occurring one



Source: Data of ANA, map created by authors.

Figure 1 – Brazil and the study area in Pernambuco state located in the semi-arid region of northeastern Brazil (Pernambuco state is marked on the Brazilian map), as well as the Pajeú River watershed (marked on the Pernambuco map).

year droughts are strongly related to the Southern Oscillation phenomenon El Niño (RODRIGUES & MCPHADEN, 2014), but reasons for multi-year droughts are not yet well understood.

The region is characterized mainly by the Caatinga biome – a deciduous xeric shrubby region typically on relatively shallow soils (SAMPAIO, 1995). In the study area, three soil types – luvisolic, regosolic, and arenosol, cover more than 50% of the watershed with low water retention capacities. Groundwater is limited to areas of the sedimentary basin, but often tends to be saline (VOERKELIUS *et al.*, 2003; CIRILO, 2008).

This integrated study is based on data from publicly available data sources in Brazil. Historical rainfall data were obtained from the National Water Agency of Brazil (ANA, 2014) for six active weather stations located along the Pajeú River course. Data resolution is carried out on a daily basis, but partly with large gaps of data records. Daily data were screened for false data, and corrected by linear interpolation of surrounding data, depending on the availability.

For this study, the data at the municipality level regarding land use and demographic development were collected for all municipalities of the Pajeú River watershed from the Brazilian Institute of Geography and

Statistics (IBGE, 2014). In addition, the IBGE offers historical data about annual agricultural and livestock production with the datasets *Produção Agrícola Municipal* (PAM, 2014) for the period from 1990 to 2013 and *Produção da Pecuária Municipal* (PPM, 2014) from 1973 to 2013.

Daily rainfall data were summarized to the annual totals of the respective stations and standardized as per the annual rainfall departure, with the following Equation:

$$X_{ij} = \frac{(r_{ij} - \bar{r}_i)}{\sigma_i} \quad (1)$$

where X_{ij} is the annual rainfall departure, r_{ij} is the annual total for station i , and year j , \bar{r}_i is the annual mean rainfall at station i averaged over the study period, and σ_i is the standard deviation of the annual totals. The new time series are characterized by a mean equal to 0 and a variance equal to 1. The regionally integrated rainfall departure is calculated as the means for all stations. The annual rainfall departure is defined into three categories: $z < -0.5$ refer to dry years; $z > 0.5$ refer to wet years; $-0.5 < z < 0.5$ define normal years; where the z-score indicates how many standard deviations

an element is from the mean; analog to Kutiel *et al.* (2014). For the categorization of the entire domain, the integrated standardized rainfall departure is calculated as mean across all stations.

Linear regression models are used for trend removing of analyzed time series and correlation of crop yields with annual rainfall departure and agricultural gross domestic product (aGDP) according to Equation 2:

$$Y_{ij} = a \cdot x_j + b + E_{ij} \quad (2)$$

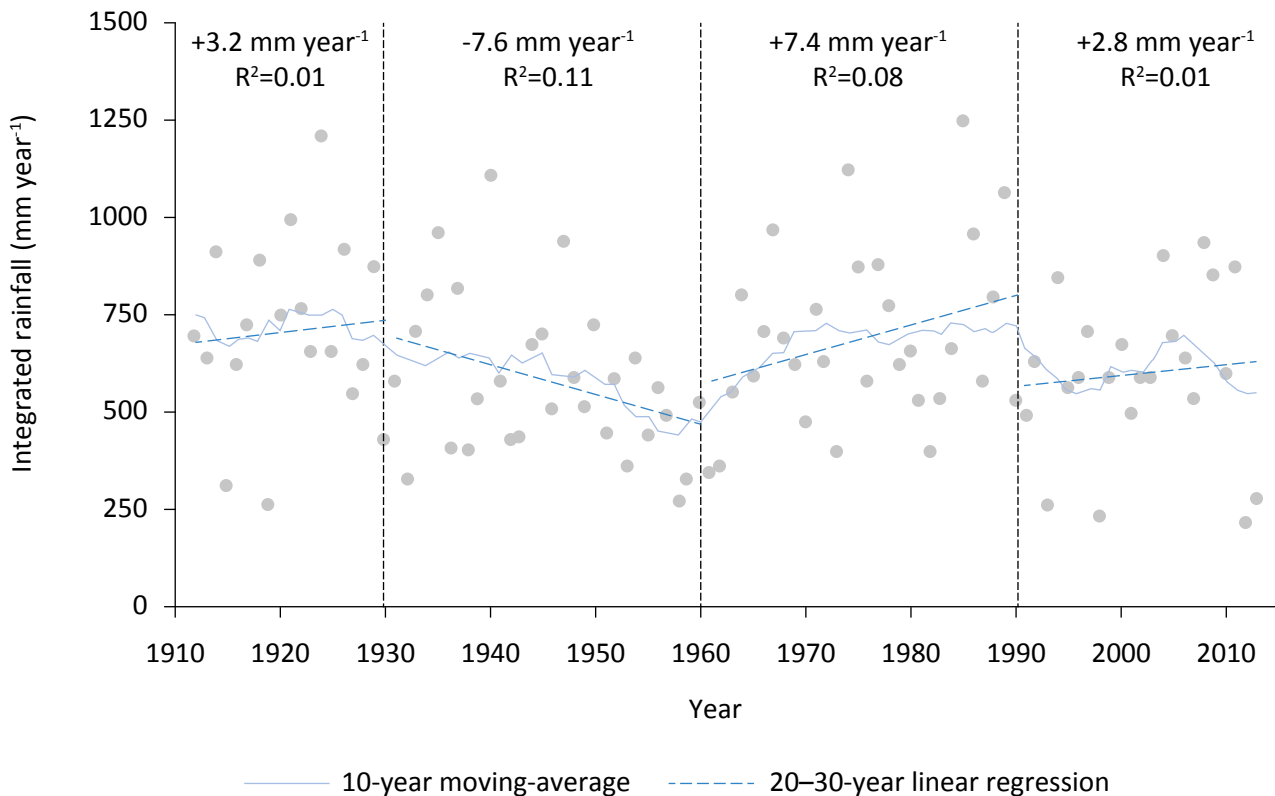
where Y_{ij} is the standardized crop yield for crop i and, year j or the annual aGDP, a and b are the regression factors for slope and intercept and E_{ij} is the residual error for crop i and, year j . The coefficient of determination (R^2) larger than 0.75 describes a strong relationship, and a coefficient below 0.25 describes a weak relationship.

RESULTS

In the semi-arid area of northeastern Brazil, rainfall has a high spatial and temporal variability. In the Pajeú River watershed, more than 90% of the total rainfall occurs mostly in the rainy season from January until May, while the rest of the year is dry. The temperature is characterized by small annual amplitude between 23.3 °C and 27.9 °C, but relatively large daily fluctua-

tions between 20.0 °C and 33.7 °C as monthly means and all-the-year high evaporation rates.

Over the past century between 1912 and 2013, no significant trend of rainfall could be detected in the watershed by linear regression analysis (Figure 2). However, 20–30-year periods of linear regressions show variable but non-significant tendencies. Particularly,



Source: Data of ANA.

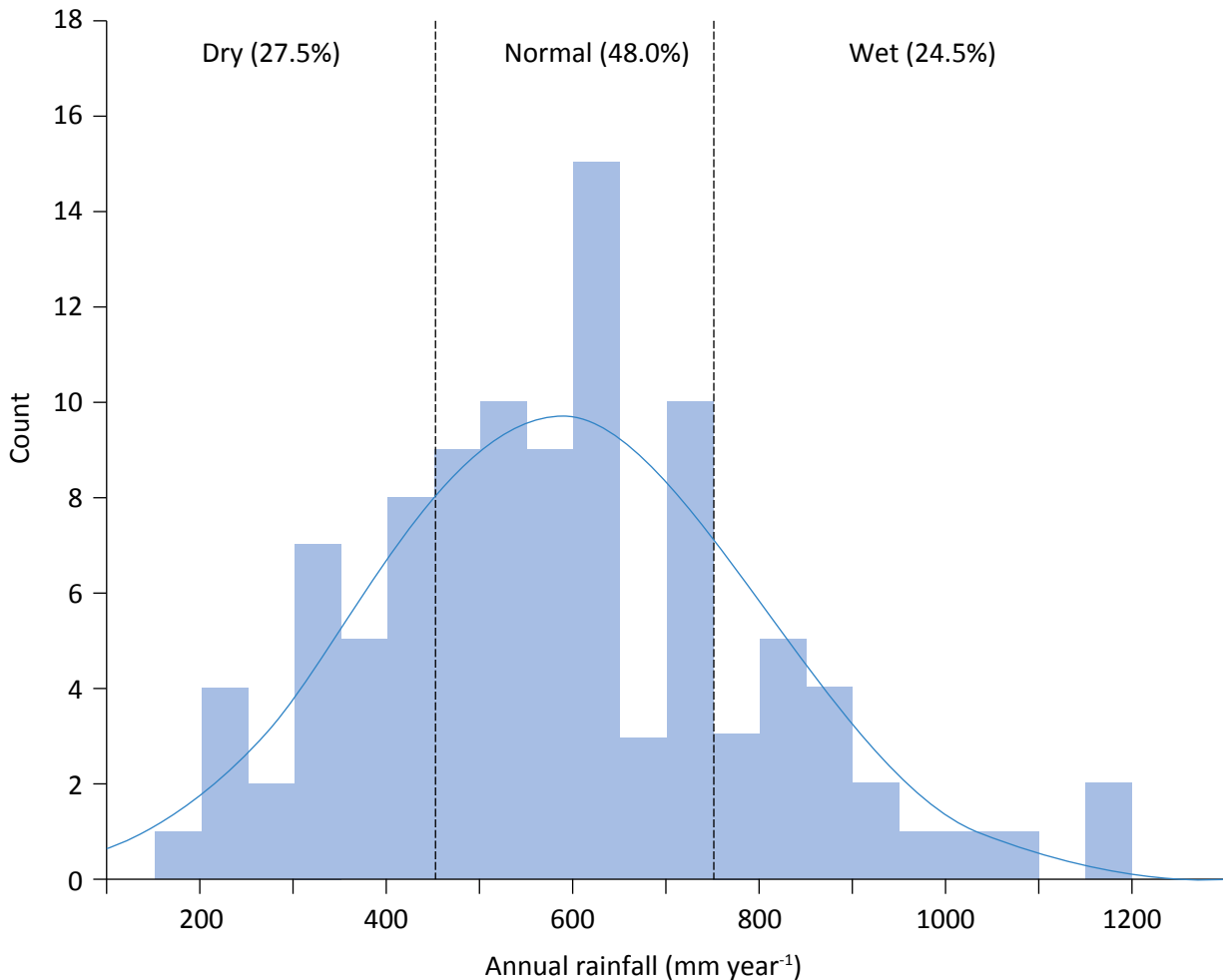
Figure 2 – Annual integrated rainfall (dots) in the Pajeú River watershed with 10-year moving-average (red line) from 1911 until 2013. Solid lines (black) represent linear regressions for 20–30-year periods with embodied annual slopes and R^2 . For the total period, a non-significant annual rainfall change of $-0.42 \text{ mm year}^{-1}$, $R^2 = 0.003$, was detected.

the severe long drought period in the 1950s is strongly affecting regressions between 1930 and 1990. In contrast, rainfall is more expressed by high annual variability between 300 mm and 1,500 mm with a mean of 585 mm year⁻¹ at the stations within the Pajeú River watershed (Figure 3).

Within the period from 1912 to 2013, 9 severe droughts with $z < -1.0$ or less than 305 mm year⁻¹ occurred. The frequency of severe or multi-year droughts is irregularly distributed. In the period of 30 years (from 1930 until 1959), 16 years were classified as dry ($z < -0.5$), including 2 severe drought years; however, from 1960

until 1989, 4 years were dry, including 1 severe drought year. From 1990 to 2013, 5 dry years including 4 severe drought years were registered. But, the longest time period between 2 dry years was a maximum of 10 years with an average occurrence of every 3.4 years, whereas the time period between severe droughts was between 2 and 31 years with an average occurrence of every 12.9 years.

Agricultural production in the Caatinga is widely practiced in a land tenure system. In the Pajeú River watershed, the average farm size varied between 3.3 and 6.0 ha with an area-weighted mean of 4.9 ± 1.2 ha



Source: Data of ANA.

Figure 3 – Histogram of regional integrated annual rainfall in the Pajeú River watershed for the period 1912 to 2013; with a normal distribution around the mean of 585 mm year⁻¹.

farm⁻¹, but landownership is unevenly distributed. For easier water access and all-the-year water supply, most farms are allocated along a riverbed or close to larger reservoirs.

Crop production in the Pajeú River watershed is dominated by typical temporary subsistence crops, mostly beans, corn, and tapioca, which cover a cumulative area of 173,067 ha (average from 1990 to 2012) representing 97% of the total temporary agricultural land use. The main permanent crops in the total planted area (8,083 ha, average from 1990 to 2012) for the entire Pajeú River watershed are cashew nut (57%), banana (16%), guava (12%), mango (5%), and coconut (4%), with banana and coconut recently becoming more important.

Crop yields depend on various factors: the main ones are water availability, temperature, solar radiation, soil characteristics, nutrients, fertilization, and irrigation practice, as well as pest control among others.

The calculated crop yields, by division of harvested weight through planted area, show a strong variability.

For example, corn as temporary crop varies between 0 and almost 1,000 kg ha⁻¹. These strong variations of crop yields suggest varying management practices, and that other environmental conditions besides rainfall may play an important role within the study area.

The trend-adjusted time series of crop yields, especially of major temporary crops show a linked pattern to annual rainfall (Figure 4). Correlating annual crop yields with the annual rainfall departure shows the dependency of temporary crops on annual rainfall (Table 1). In contrast, the maximum length of consecutive dry days do not show any influence on crop yields in the study region.

Permanent crop yields are less significant correlated to annual rainfall departure, but including the previous year annual rainfall departure by adding the annual rainfall departure of the respective two years ($n_i + n_{i-1}$), correlations become more significant for some permanent crops (Table 1). However, the cash crop cashew nut is highly correlated to the actual annual rainfall ($p < 0.001$), which covers 57% of the area for

Table 1 – Average crop yields with standard deviation and trend adjusted linear regression equation in relationship to the annual rainfall departure. Pearson coefficients presenting correlations between crop yield and annual rainfall departure of the same year (n) and included weighted previous year ($n_i + n_{i-1}$).

Crops	Mean \pm SD (kg ha ⁻¹)	Trend adjusted		p-value (Pearson)	
		Equation	R ²	n	$n_i + n_{i-1}$
Temporary crops					
Beans	171 \pm 101	$y = 86.04x + 6.17$	0.38	< 0.001	0.024
Corn	433 \pm 296	$y = 229.9x - 26.38$	0.27	0.006	0.045
Manioc	6,815 \pm 2,257	$y = 1,370x + 98.4$	0.18	0.022	0.006
Sugarcane	28,182 \pm 12,044	$y = 8,472x + 608$	0.26	0.006	< 0.001
Permanent crops					
Cashew nut	500 \pm 178	$y = 154.3x + 11.08$	0.40	< 0.001	0.005
Banana	8,058 \pm 6,287	$y = 1,748x + 126$	0.08	0.100	0.023
Guava	52,678 \pm 47,845	$y = -907x - 65.1$	-0.05	0.898	0.972
Mango	19,571 \pm 17,520	$y = -2,410x - 173$	0.02	0.250	0.177
Coconut	8,165 \pm 4,141	$y = 1,514x + 108$	0.08	0.102	0.043

SD: standard deviation; R²: coefficient of determination.

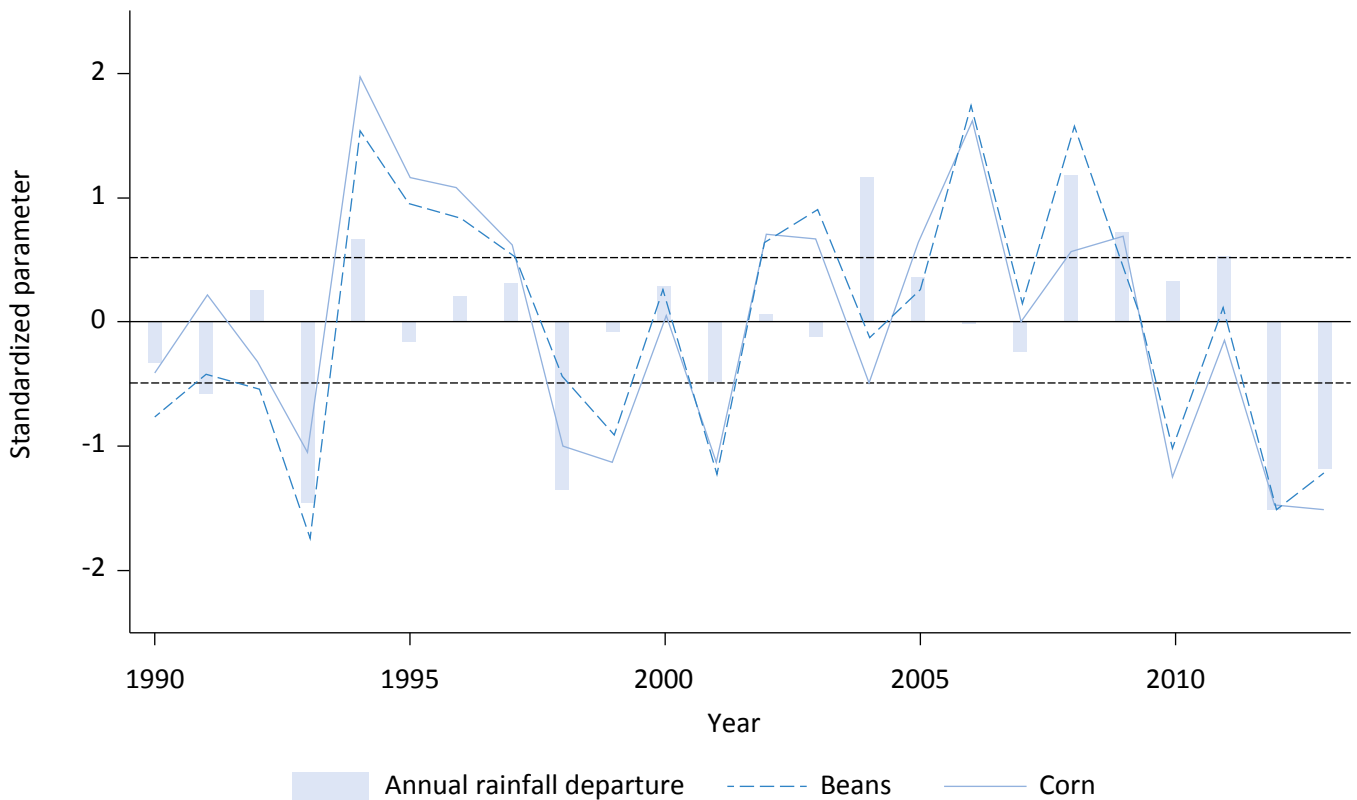
permanent crops and has a major contribution to income production.

Livestock in the region is dominated by chicken (62%), goat (18%), cattle (9%), and sheep (6%), which cover summarized 95% of livestock in this region with increasing trends of stocks. In 1993, a sharp decrease in number of animals occurred due to the severe drought. More than 55% of the cattle and pig stock died because of water and food scarcity, whereas chicken and goats had a higher survival rate.

Recovery of stocks, especially for larger animals such as cattle and horses, needs several years. In contrast, the chicken stock was recovered within one year after the drought in 1993. Since this drought, apiculture was introduced with an increase of about 11% and production of quail eggs started in the region. In addition, chicken farming was extended and goat and sheep farming increased slightly, while pork production currently plays a minor role.

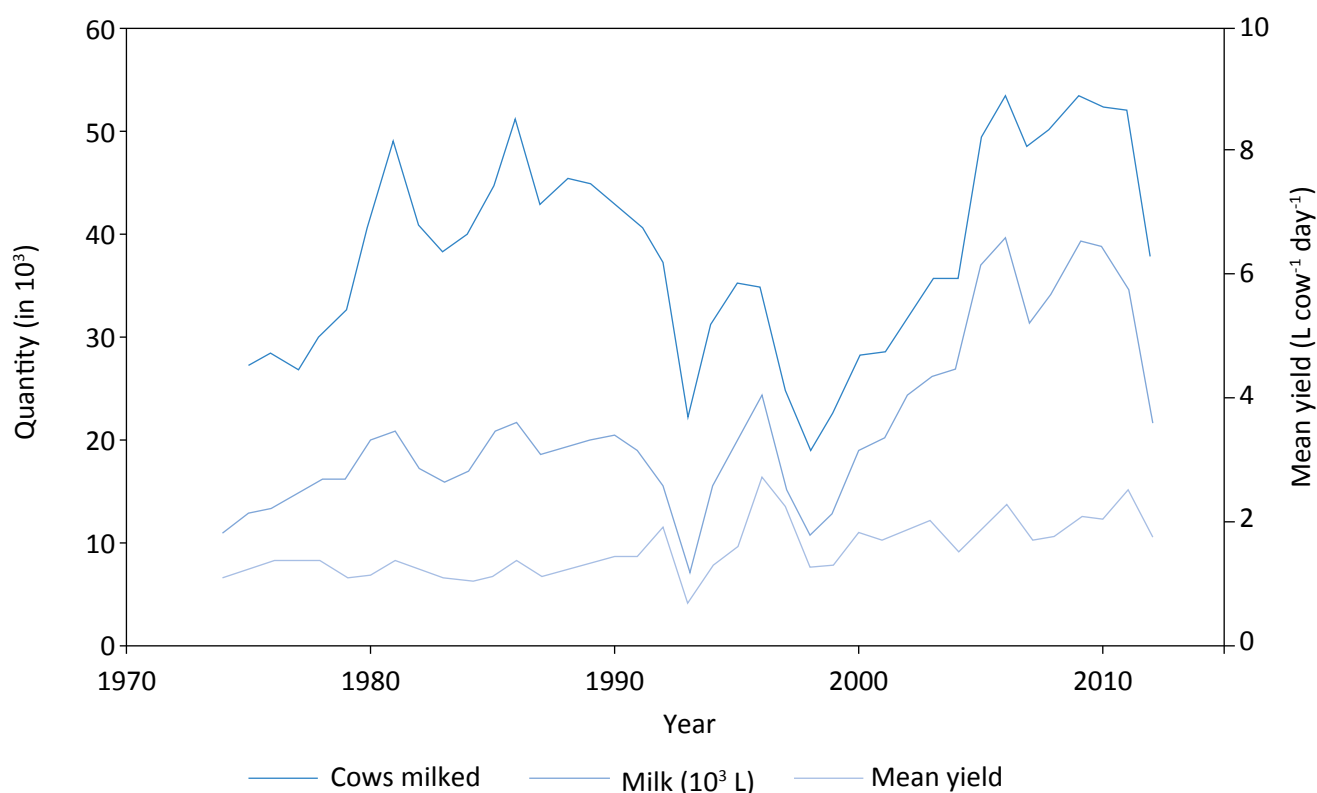
Animal husbandry is also undertaken for products derived from animals. Here, milk and eggs are the main products for the region. From 1974 until 2012, the production of milk and eggs increased by 1.8 and 3.8%, respectively. In the drought of 1993, the amount of milked cows declined to 60% of the previous year's stock; as also shown for Bahia by Burney *et al.* (2014). Not only did the total number of milk cows decline drastically but the average daily milk production per cow also decreased from 1.9 to 0.6 L. Although the number of milked cows recovered relatively fast within a few years, the average yield recovered more slowly (Figure 5).

The aGDP of the Pajeú River watershed varied on both temporal and spatial scales for the period 1999 to 2013. The aGDP shows a significant trend of a yearly growth rate of 8.8% for the entire watershed, but due to the severe multiyear drought from 2010 to 2013, the aGDP declined about 40% from 182.2 Mio R\$ in 2009 to 109.8 Mio R\$ in 2012 (Figure 6). The par-



Source: Data of ANA and PAM.

Figure 4 – Time series of annual rainfall departure and standardized trend adjusted crop yields for beans and corn.



Source: Data of PPM.

Figure 5 – Development of milk production in the Pajeú River watershed with number of cows, milk (in 1000 L) and the mean milk yield in L per cow and per day.

tial contribution of the selected agricultural sectors temporary and permanent crops as well as livestock is temporally relative, and account for 45.6, 7.0, and 26.1% of the total aGDP. However, during the drought, the temporary crop income had had for the most part decreased significantly.

As presented in the aGDP, low annual rainfalls favored reduced crop yields, led to death of livestock and decrease in animal produce. Due to these facts, the entire watershed shows in the period between 1999 and 2012 an existing relationship and a significant correlation between the aGDP and the annual rainfall. As a result, the local economy was under stress during these periods and had a major negative impact on the livelihood of the people.

Although permanent crop yields and milk yield are affected by the previous year's conditions, the annu-

al rainfall departure of the same year has the highest correlation with the trend-adjusted aGDP of the entire watershed (Pearson: $p = 0.01$). According to the modeled relationship between aGDP and annual rainfall departure by linear regression, a drought year with an annual rainfall departure of -1.5 reduces the aGDP by 33% (41 Mio R\$). A wet year with an annual rainfall departure of 1.5 increases the aGDP by approximately 34 Mio R\$ or 28%. This reflects the strength of drought years for the local agricultural economy, as losses by dry years cannot be compensated by wet years. In Table 2, the sensitivity of agricultural production to annual rainfall variability is expressed by the slope of the linear regression function. The downstream area shows on one hand, a lower dependency on annual rainfall with more stable income generation, but generates on the other hand a lower aGDP in wet years than the upstream

Table 2 – Factors of linear regression between regional annual rainfall departure and trend adjusted agricultural gross domestic product in R\$ per ha of agricultural land use including tillage, pasture and forestry.

Region	A	b	R ²
Total watershed	28.31	-4.09	0.39
Upstream	40.11	-14.62	0.41
Downstream	23.57	-2.35	0.62

R²: coefficient of determination.

region. The residual distances between predicted and observed aGDP are mainly explained by livestock practices. In the upstream region, the number of milk

cows ($p = 0.03$) and pigs ($p = 0.04$) and downstream milk production per cow ($p = 0.03$) describe the major variance of the model.

DISCUSSION

Global climate models mostly agree in the prediction of higher rainfall variability and longer droughts in semi-arid regions (IPCC, 2014; BURNEY *et al.*, 2014). However, regional climate models show changes in precipitation trends for northeast Brazil (KROL & BRONSTERT, 2007; MARENGO *et al.*, 2009). Several authors state that the semi-arid region is the most vulnerable area of Brazil regarding climate change impacts, amplified by the high population density, reduced productivity, livestock deaths, and out-migration of labor (SIMÕES *et al.*, 2010; LOBELL *et al.*, 2011).

Da Silva (2004) performed a trend analysis of climate parameters for the northeastern region and identified an increasing trend toward climate variability, whereas the two considered stations within the Pajeú River watershed showed no significant trends, which is consistent with the findings of this study. This may be due to the mitigation measures of large reservoirs, rainwater harvesting such as small reservoirs, subsurface dams, cisterns, and increased areas of irrigation agriculture in the region having an effect on local climate conditions (DA SILVA, 2004). Still, vegetation change toward strongly reduced ground covering can reverse this effect and negatively influence local climate (OYAMA & NOBRE, 2004; BURNEY *et al.*, 2014).

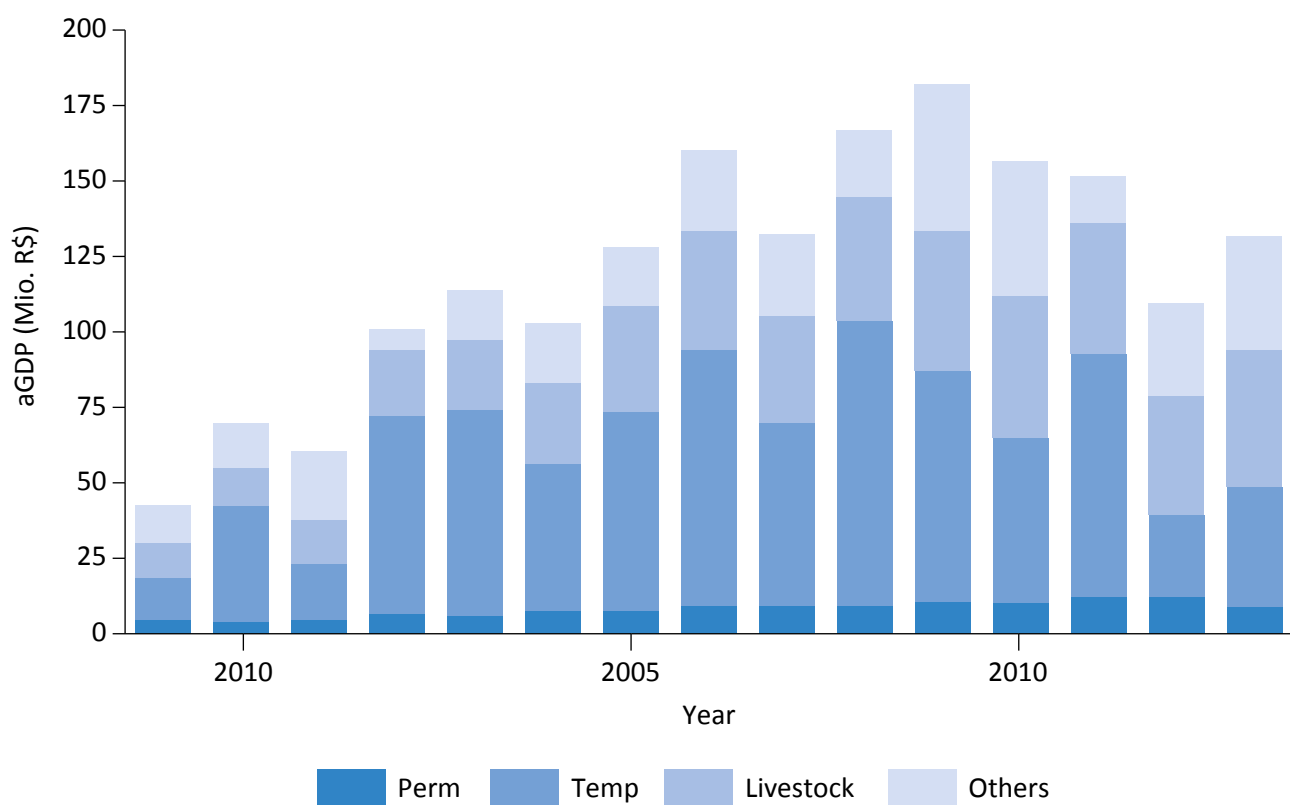
Although rainfall and related water availability in the studied watershed does not underlie any observable trend, stress on water resources is increasing in drought periods due to population growth and increasing land degradation. Migration, especially from the countryside into cities, enhances local water stress due

to concentrated water consumption and point-release of mostly inappropriate purified wastewater, therefore resulting in the decrease of the quality of the water and its effects on irrigation and agriculture.

Despite the semi-arid climate and frequent occurrence of droughts, agriculture is the main economical pillar in northeast Brazil. Although Brazil has begun to face water scarcity since 1877, after a severe drought followed by an emergency response and large water infrastructure, such as construction reservoirs and more recently water transposition channels, significant impacts from limited water resources in drought years persisted (CIRILO, 2008; GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

Agricultural production is inseparably linked to water availability, which is the main driving factor of crop yield (FAO, 2012). In the semi-arid northeastern region and for the Pajeú River watershed, temporary crops are the most abundant crops in more than 95% of agricultural area. In general, the observed temporary crop yields for the total watershed have a high year-to-year variance, which is strongly related to annual rainfall.

The achieved crop yields are comparatively low as compared to the Brazilian or global averages (SAMPAIO, 1995; FAO, 2012), as for instance, maize which is generally cultivated in an extensive subsistence system. In the downstream region, especially in the municipality of Floresta, water availability is increased due to the reservoir Açude Serrinha II, which retains water during the rainy season and releases increased amounts in the dry season. Relatively secured all-the-year water



Source: Data of PPM.

Figure 6 – Development of the agricultural gross domestic product (aGDP) within the Pajeú River watershed with contributions of permanent and temporary crops, as well as livestock between 1999 and 2013.

resources motivate farmers to invest in irrigation technique (up to 22% of agricultural land area in Floresta), and the cultivation of permanent or more cost intensive crops such as coconut or onions. This explains the lower sensitivity of the local aGDP in the downstream region to annual rainfall, too.

Overall, agricultural extension is important to improve agricultural productivity and promote water saving irrigation technologies for an increased resilience against droughts. Permanent crops especially require advanced agricultural and business skills (HAGEL *et al.*, 2014). Sietz *et al.* (2006) discuss persistent negative effects of droughts to the agricultural production systems, which underlines the importance of smallholders' drought resilience.

Livestock and animal products have an important economic contribution and are less susceptible to droughts (COUTINHO *et al.*, 2013). Despite the relatively higher drought tolerance than crops in dry years, animal

productivity and survival are crucial factors that bring a decrease in the economic income (BURNLEY *et al.*, 2014; LINDOSO *et al.*, 2014). During years of severe droughts, animal survival is reduced due to restricted water availability, limited forage production on pasture land, and overgrazing effects in the natural vegetation (LEAL *et al.*, 2005).

The data point out that recovery time for large animals is much longer than for smaller animals such as chicken, quails, or goats. For this reason, there is a shift of livestock practice to increased numbers of chicken and quails, whereas importance of pig and other large livestock declined after the drought years in 1993 and 1998. However, milk production as an important means of income generation and shows increasing yields, probably because of better feeding conditions. However, the high death rates of livestock during droughts still threaten small farmers' livelihoods as recently report-

ed during the drought from 2010 to 2013 (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

Since the 1993 drought, apiculture was introduced in the region as a less cost-effective agricultural alternative with rapid recovery time, probably mainly for subsistence economy. Until now, no sufficient studies about the local apicultural activity and production have been carried out which could enhance market expansion and value by knowledge of pollen components (SANTOS DE NOVAIS *et al.*, 2010).

Despite widely applied water storage measures and changes in agricultural practice since decades, heavy economical impacts are still observed in the recent drought from 2010 until 2013. Although relatively high temporary crop yields are stabilized with irrigation measures in the downstream region, water resources are made available round the year by the perennial water reservoirs. In areas without access to perennial water, subsistence agriculture, economical problems, and devastation are still occurring during drought periods as they are not adapting to the improved agricultural practices.

The introduction of apiculture and the shift to more drought resilient animals or those with faster recovery time are innovative practices to create a more drought resilient agricultural business. A shift toward integrated water management including supplemental irrigation in rainfed production systems, instead of strictly separating irrigated and non-irrigated agriculture may dampen the effects of droughts and even, increase the overall agricultural production (ROCKSTRÖM *et al.*, 2010). The income alternatives outside the agricultural sector should be promoted to reduce the pressure on land and water (HAGEL *et al.*, 2014).

For an improved adaptation of agricultural practices there are several institutions working in this field in the semi-arid northeastern region; this study should strengthen the discussion about more water saving techniques and adapted agricultural practices. Furthermore, climate change models have to be refined and locally adopted for an improved simulation of future trends for an appropriate land and water management.

CONCLUSIONS

Despite the regional climate trends, the annual rainfall do not show significant trends in the Pajeú River watershed, probably due to small and large scale water storages and irrigation schemes. The occurrence of droughts is irregular, but average intervals are between 3.4 and 12.5 years for dry and severe drought years, respectively. Although agricultural and livestock production show an increasing tendency in the studied region, the agricultural income in dry years and especially in severe drought years is reduced by about 30% and economic welfare reverts. Agricultural production, especially for temporary subsistence crops, highly correlates to regional annual rainfall, which affects the small-scale or subsistence farmers who have more difficulties to

recover from droughts. Therefore, the high climate variability has strong effects on the regional economic development in all agricultural practices, which can be seen in the agricultural gross domestic product. As a local adaptation strategy for higher drought tolerance, farmers increased the small animal stock with higher recovery rates and implemented apiculture in the region. However, in the recent drought between 2010 and 2013 economical devastation occurred at the subsistence farm level due to low drought adaptation. In contrast, irrigation schemes with perennial water supply achieved constant high crop yields independent from local rainfall with high income generation due to increased market prices.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is performed within the bi-national (Brazil and Germany) research project INNOVATE (INterplay among multiple uses of water reservoirs via inNOvate coupling aquatic and Terrestrial Ecosystems) funded by the German Ministry of Education and Research (BMBF) and the Brazilian Conselho Nacional de Desen-

volvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) and the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). The authors are thankful to Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) and Agência Nacional de Águas (ANA) for several open available statistical and rainfall data.

REFERENCES

- ANA. Rainfall dataset, 2014. Available at: <http://www.ana.gov.br>, Cited: 22 Jan. 2015.
- ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S.; NETTO, A .M.; ANGULO JARAMILLO, R.; LIRA, C.A.B.O. Subirrigation of land bordering small reservoirs in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: monitoring and water balance. *Agricultural Water Management*, v. 73, n. 2, p. 131-147, 2005. ISSN 0378-3774.
- BURNEY, J.; CESANO, D.; RUSSELL, J; LA ROVERE, E. L.; CORRAL, T.; COELHO, N. S.; SANTOS, L. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. *Climatic Change*, v. 126, n. 1-2, p. 45-59, 2014. ISSN 0165-0009.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, v. 22, p. 61-82, 2008. ISSN 0103-4014.
- COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO M. S. S.; EDVAN R. L.; PINTO A. P. A. Pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. *Veterinária e Zootecnia*, v. 20, p. 9–17, 2013.
- DA SILVA, V. D. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004. ISSN 0140-1963.
- FAO. *Crop yield response to water*. Rome: FAO, 2012. 505 p.
- GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N.L.; NYS, E.D.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E.S. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, v. 3, n. 0, p. 95-106, 2014. ISSN 2212-0947.
- HAGEL, H.; HOFFMANN, C.; DOLUSCHITZ, R. Mathematical Programming Models to Increase Land and Water Use Efficiency in Semi-arid NE-Brazil. *International Journal on Food System Dynamics*, v. 5, n. 4, p. 10, 2014.
- IBGE. Censo agropecuária, 2014. Available at: <http://www.ibge.gov.br>. Cited: 22 Sept. 2014).
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- KROL, M.; FUHR, D.; DÖRING, A. Integrated modeling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east region of Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 328, n. 3-4, p. 417-431, 2006. ISSN 0022-1694.
- KROL, M. S. & BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modeling & Software*, v. 22, n. 2, p. 259-268, 2007. ISSN 1364-8152.
- KUTIEL, H.; LUKOVIĆ, J.; BURIĆ, D. Spatial and temporal variability of rain-spells characteristics in Serbia and Montenegro. *International Journal of Climatology*, v. 35, n. 7, p. 1611-1624, 2014. ISSN 1097-0088.
- LEAL, I. R.; SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; LACHER JR., T.E. Changing the Course of Biodiversity Conservation in the Caatinga of Northeastern Brazil Cambiando el Curso de la Conservación de Biodiversidad en la Caatinga del Noreste de Brasil. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005. ISSN 1523-1739.
- LINDOSO, D.; ROCHA, J.D.; DEBORTOLI, N.; PARENTE, I.I.; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S. Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. *Climatic Change*, v. 127, n. 1, p. 93-105, 2014/11/01 2014. ISSN 0165-0009.
- LOBELL, D. B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, v. 333, n. 6042, p. 616-620, 2011.

- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. ISSN 1097-0088.
- MONTENEGRO, S. & RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 434-435, p. 55-68, 2012. ISSN 0022-1694.
- OYAMA, M. D. & NOBRE, C. A. Climatic Consequences of a Large-Scale Desertification in Northeast Brazil: A GCM Simulation Study. *Journal of Climate*, v. 17, n. 16, p. 3203-3213, 2004. ISSN 0894-8755.
- PAM. Produção Agrícola Municipal, 2014. Available at: www.sidra.ibge.gov.br. Cited: 15 Mar. 2015.
- PPM. Produção da Pecuária Municipal, 2014. Available at: www.sidra.ibge.gov.br. Cited: 15 Mar. 2015.
- ROCKSTRÖM, J.; KARLBERG, L.; WANI, S.P.; BARRON, J.; HATIBU, N.; OWEIS, T.; BRUGGEMAN, A.; FARAHANI, J.; QIANG, Z. Managing water in rainfed agriculture –The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 4, p. 543-550, 2010. ISSN 0378-3774.
- RODRIGUES, R. R., & MCPHADEN, M. J. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014. doi: 10.1002/2013gl058703
- SAMPAIO, E. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. cap. 3, p. 35-63.
- SANTOS DE NOVAIS, J.; LIMA E LIMA, L. C.; SANTOS, F. D. A. R. D. Bee pollen loads and their use in indicating flowering in the Caatinga region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 74, n. 10, p. 1355-1358, 2010. ISSN 0140-1963.
- SIETZ, D.; UNTIED, B.; WALKENHORST, O.; LÜDEKE, M.K.B.; MERTINS, G.; PETSCHL-HELD, G.; SCHELLNHUBER, H.J. Smallholder agriculture in Northeast Brazil: assessing heterogeneous human-environmental dynamics. *Regional Environmental Change*, v. 6, n. 3, p. 132-146, 2006/05/01 2006. ISSN 1436-3798.
- SIMÕES, A. F.; KLIGERMAN, D.C.; ROVERE, E.L.; MAROUN, M.R.; BARATA, M.; OBERMAIER, M. Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. *Environmental Science & Policy*, v. 13, n. 8, p. 801-808, 2010. ISSN 1462-9011.
- TONI, F. & HOLANDA JR, E. The effects of land tenure on vulnerability to droughts in Northeastern Brazil. *Global Environmental Change*, v. 18, n. 4, p. 575-582, 2008. ISSN 0959-3780.
- VOERKELIUS, S. ; KÜLLS, C.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISCH-KORN, H.; SEMRAU, L. A. S.; HEINRICHS, G.; GIL, M. M. L. Investigations on Water Management and Water Quality in Picos/PI and Tauá/CE. In: GAISER, T.; KROL, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J.C. (Eds.). *Global Change and Regional Impacts*. Springer Berlin Heidelberg, 2003. cap. 13, p.173-184. ISBN 978-3-642-62861-0.

THE SITUATION AND PERSPECTIVES OF AGRICULTURAL COOPERATIVES IN THE SURROUNDING AREA OF THE ITAPARICA RESERVOIR IN NORTHEAST BRAZIL

A SITUAÇÃO E AS PERSPECTIVAS DAS COOPERATIVAS AGROPECUÁRIAS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO ITAPARICA NO NORDESTE DO BRASIL

Heinrich Hagel

Department of Computer Applications and Business Management in Agriculture, University of Hohenheim – Germany.

Lucy Rocío Zavaleta Huerta

Department of Computer Applications and Business Management in Agriculture, University of Hohenheim – Germany.

Reiner Doluschitz

Department of Computer Applications and Business Management in Agriculture, University of Hohenheim – Germany.

Christa Hoffmann

State Institute of Pig Breeding, Center of Education and Knowledge Boxberg – Germany.

Christoph Reiber

Department of Animal Breeding and Husbandry in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim – Germany.

José Ferreira Irmão

Department of Literature and Social Sciences, Federal Rural University of Pernambuco – Recife (PE), Brazil.

Corresponding address:

Heinrich Hagel
University of Hohenheim – Schloß – Osthof Süd – 70599 – Stuttgart, Germany –
E-mail: heinrich.hagel@uni-hohenheim.de

ABSTRACT

Over 20 years after the implementation of irrigation schemes in the surrounding area of the Itaparica Reservoir, in the semi-arid region of Northeast Brazil, insufficient infrastructure and low market power still impact smallholders' incomes and development of market strategies to support rental increase from the smallholders. Lack of access to credit, high input costs, and low producer prices for major crops have helped to maintain the poverty status of smallholders that equally affects small agricultural producers like cattle breeders. Agricultural cooperatives have contributed to increase their members' market power in agricultural commerce and facilitate their access to credit and agricultural expansion. To analyze the historical context of this situation, as well as the potentials and constraints of agricultural cooperatives and associations, 24 qualitative expert interviews were conducted among members of cooperatives or associations and consultants involved with technical assistance to smallholders. During the study period, no active agricultural cooperatives could be identified. Financial problems related with lack of financial resources, inadequate government support, absence of leadership and poor organization, and missing solidarity and mistrust were considered the main reasons for the cooperatives' poor situation. However, the potential of these cooperatives are illustrated by the efficiency of the fishery and apiculture associations.

Keywords: Agriculture; cooperatives; Itaparica reservoir; semi-arid region.

RESUMO

Com mais de 20 anos da implementação dos projetos de irrigação no entorno do Reservatório de Itaparica, no Semiárido Nordestino, uma infraestrutura insuficiente e um baixo poder de mercado ainda impactam os rendimentos de pequenos proprietários e do desenvolvimento de estratégias de mercado para apoio ao aumento de renda dos pequenos produtores. A falta de acesso ao crédito, os elevados preços dos insumos e os baixos preços dos produtos agrícolas têm contribuído para manutenção do status de pobreza que afeta tanto os pequenos produtores agrícolas como os pequenos pecuaristas. As cooperativas agrícolas têm contribuído para aumentar o poder de barganha na comercialização agrícola e facilitar o acesso ao crédito e à extensão rural. Com o objetivo de analisar a história dessa situação, os potenciais e as restrições das cooperativas e associações, foram aplicados 24 questionários aos técnicos envolvidos na assistência técnica aos pequenos produtores. Por ocasião deste estudo, não foram identificadas cooperativas em ação na região. Problemas relacionados com a falta de recursos financeiros, falta de apoio dos governos, falta de liderança e organização, desconfiança e descrédito na eficácia das cooperativas foram as principais razões para esse baixo desempenho das cooperativas. No entanto, o potencial impacto das cooperativas pode ser ilustrado pela eficácia das associações de pescadores e de apicultores.

Palavras-chave: Agricultura; cooperativas; Reservatório de Itaparica, semiárido.

INTRODUCTION

Since the 1950s, Brazil's government and governmental authorities promoted the construction of several dams and reservoirs along the São Francisco River for hydroelectricity generation (THE WORLD BANK, 1998). These processes involved the promotion of irrigated agriculture to compensate local people for flooded land and reduce the traditionally high poverty in the semi-arid region (CAMELO FILHO, 2011). Despite significant progress in poverty reduction in the recent decades (ROCHA *et al.*, 2012), the income level in the region is far below the national average. Around 61% of the local population is still classified as vulnerable to poverty¹ (ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO DO BRASIL, 2013).

The situation in the irrigation schemes around the Itaparica Reservoir represents many aspects of the situation that family farmers face in the semi-arid region. After the construction of the reservoir, local smallholders and formerly landless laborers received irrigated land inside irrigation schemes (THE WORLD BANK, 1998). Due to several complications during the implementation, soils with low fertility and lack of infrastructure, many smallholders still live in poverty even after more than 20 years after the first irrigation schemes went into production (DA COSTA, 2010; UNTIED, 2005). Despite indirect subsidies in the form of free irrigation water, returns from most crops are still low and depend on low wages for day laborers (HAGEL *et al.*, 2014).

Especially in the semi-arid Northeast with an agrarian structure characterized by a high share of small family farmers, agricultural cooperatives have the potential

to improve small farmers' access to several means of production, markets for product commercialization, credits, and information and expansion (SABOURIN *et al.*, 2004). UNTIED (2005) identified these issues as the major constraints of smallholders around the Itaparica Reservoir. When implementing the irrigation schemes of the Itaparica system, the dam operator CHESF (São Francisco's Hydroelectric Company) attempted to establish agricultural cooperatives. Although many farmers were organized in cooperatives and associations at the beginning, most of them were not satisfied with their support and so their influence was declining constantly (UNTIED, 2005). In 2006, 80% of the 8,724 farmers in the Itaparica region were not organized in any kind of association (IBGE, 2006).

Regardless, the potential of agricultural cooperatives were emphasized at the 2012 World Food Day "Agricultural cooperatives: key to feeding the world" at the University of Hohenheim (DA SILVA, 2012) and more recently by Altman (2015). The National Service of Learning about Cooperatives (SESCOOP) constantly registers increasing members of cooperatives (SESCOOP, 2012). RIBEIRO *et al.* (2013) illustrate the benefits of agricultural cooperatives for family farmers in the municipality of Petrolina, around 300 km from the Itaparica Reservoir. Thus, this study intends to assess and analyze the historical and actual situation of agricultural and livestock cooperatives within the irrigation schemes around the Itaparica Reservoir, analyze the reasons for their success and failure, and identify their recent developments and potentials.

MATERIAL AND METHODS

Study area

The study was conducted in Petrolândia, in Pernambuco state, and the three irrigation schemes within and around the municipality – Apolônio Sales, Icó-Mandantes (Block 3 and 4), and Barreiras (Block 1 and 2)².

The irrigation schemes were implemented in the late 1980s during the construction of the Itaparica Reservoir, to compensate about 4,900 rural families for flooded land (excluding around 1,000 so-called "pa-

¹People earning less than R\$ 255.00 (BRL of August 2010) where defined as vulnerable to poverty.

²Before the dam construction there had been an irrigation project called Barreiras, which should not be mistaken for the new irrigation schemes Barreiras Block 1 and 2. References to the former project (flooded nowadays) are indicated by "Old Barreiras".

ra-rurals” who had moved to town, but retained the right to an irrigated lot). Due to administrative difficulties and unsuitable soils, all schemes were operational with a delay of many years and went into production in the mid and late 1990s (WORLD BANK, 1998). During the study period in 2013, the last irrigation scheme – Barreiras Block 2 – had just recently started operations.

Irrigated land in the study area is relatively equally distributed. In Petrolândia, 83% of the total irrigated area (3,179 ha) belongs to the 714 farms (96% of total farms) with each possessing less than 10 ha (IBGE,

Data collection and analysis

Data were collected from March to May 2013 by semi-structured qualitative in-depth expert interviews following the guidelines of Atteslander (2010). The interview guideline was adapted to regional characteristics and supported by former agricultural consultants in the region. After the identification of the first experts in Petrolândia, further experts were found during the first interviews by snowball sampling. In total, 24 expert interviews were conducted representing experts from several institutions as illustrated in Table 1. To achieve a representative insight into the potential of agricultural cooperatives, three interviews were held in Curitiba, in the state of Paraná, which serves as an example for the suc-

cessful implementation and promotion of agricultural cooperatives to empower relatively small family farmers (see also RITOSSA & BULGACOV, 2009). All interviews were recorded with permission of the interviewees.

Data were analyzed using methods of the qualitative content analysis according to Atteslander (2010) and Mayring (2010). Retrieved information was coded and categorized in several steps, and allocated to the research questions. Coding and categorizing allows the (quantitative) illustration of qualitative data and facilitates the analysis, interpretation, and the reproducibility of the study.

Table 1 – Interviewed experts by category and interview location.

Location	Category of expert	No. of interviews
Petrolândia/PE	Members of agricultural or livestock cooperatives	6
	Members of agricultural or livestock associations	7
	Members of the farmworker union	1
	Agricultural consultants	3
	Local authorities	3
Recife and Curitiba	Members of cooperative unions	3
Curitiba	Scientist	1
	Total	24

RESULTS

Overview on the situation of agricultural cooperatives in Northeast Brazil

The analysis of the situation of agricultural cooperatives in the study region requires a general understanding of the history and situation of cooperatives in the Northeast of Brazil. Research from other sources and the two expert interviews in Recife provided the necessary information. Derr (2013) discusses the history of cooperatives in Brazil in detail. The interviews in Curitiba completed the findings and helped to widen the perspective considering the national context. In the South and Southeast of Brazil, agricultural cooperatives achieved high economic and social relevance. European and Asian immigrants owning small farms imported the ideals and values of cooperatives to the region. Favorable climate for agricultural activities, cash availability, high educational attainment of the rural population, economic growth in the region, and governmental support, such as the cooperative union of the state of Paraná (OCEPAR) favored this development (DUARTE & WEHRMANN, 2006).

In contrast to the development in the South and Southeast regions, agricultural cooperatives in the Northeast were facing various difficulties. Though Ribero *et al.* (2013) names the state of Pernambuco a precursor of cooperatives in Brazil, the interviewed experts and several authors mentioned that agricultural cooperatives

were often misused in a system of clientelism to preserve the uneven balance of power. The first agricultural cooperatives were founded by owners of large or medium properties or politicians in order to receive governmental funds (DUARTE & WEHRMANN, 2006; SABOURIN, 1999). Cooperatives founded by the government or governmental authorities later failed because their members did not identify strongly with the organization. The low levels of education of the rural population, unfavorable conditions for a reliable agricultural production due to droughts, farmers' lack of capital, and urbanization aggravated the situation. Despite these difficulties, there are positive examples of agricultural cooperatives in the more prosperous area around Petrolina such as COANA, COOPEXFRUIT, COOPEX VALE, or the farmers' association APRNVI analyzed by Ribeiro *et al.* (2013).

Interviewed experts mentioned the successful implementation of agricultural cooperation a slow process that requires, above all, the education and training of potential members to understand the benefits and invest their potential and human resources in the cooperative. The clear understanding that the cooperative belongs to all its members is crucial to reach identification with and confidence in the cooperative.

Actual situation of agricultural and livestock cooperatives in the study region

In the study region, 3 agricultural cooperatives and 4 agricultural associations could be identified with having 571 members in total, as illustrated in Table 2. All three cooperatives had been founded in the late

1990s when the irrigation schemes went into production. Their main tasks were the commercialization of agricultural and livestock products, collective purchase and cost reduction of means of production, improve-

Table 2 – Agricultural and livestock cooperatives and associations in the study region in 2013.

Type of cooperation	Name of organization	Location	No. of members
Agricultural cooperative	COOPBARREIRAS	Barreiras Block 1 and 2	40
	CAPIM	Icó-Mandantes	ca. 260
	COOPERAGRI	Icó-Mandantes	80
Agricultural association	AAFE	Barreiras Block 1	18
	ACAMP	Apolônio Sales	100
Association of beekeepers	APIMA	Icó-Mandantes	23
Association of small ruminant breeders	ASCOPEYRO	Petrolândia	50

ment of credit accessibility, and provision of agricultural extension. During the instruction phase, the cooperatives received financial support by CHESF and sold the agricultural products of their members, especially green coconuts and guava, at the central markets (CEASA) in Recife and Caruaru. Although they achieved higher prices than with sales directly from the field, they stopped their activities after the financial support expired. During the study period, all identified agricultural cooperatives were inactive.

In contrast to the inactive agricultural cooperatives, four smaller associations related to agricultural or livestock activities could be identified. With the exception of the ACAMP association in the irrigation scheme Apolônio Sales, these associations were founded in the period from 2000 (AAFE) to 2012 (ASCOPEIRO) resulting from the lack of organization of smallholders and livestock farmers. ACAMP, founded in 1986 by the residents of Old Barreiras, is the oldest association in the study region. Its objective was to represent its members in the conflict with CHESF to receive more irrigated land and houses directly at the lots. During the study period, around 50 of the 100 members were regularly participating at meetings. Despite formal activities like regular meetings, no association was involved in any common economic activities. Cooperative sup-

port, such as provision of seedlings, residues from crop production as fodder, or the trade of manure, existed exclusively in friendly or family relations. Only APIMA, the association of beekeepers and farmers in Icó-Mandantes, merchandized honey under a common label. This association received technical support from the city of Petrolândia. To ensure its success in the future, interested farmers undergo a trial phase before they can become regular members. During the studied period, there were 17 members on trial which was interpreted as an indicator of the success of the association. Due to its recent formation, the association of livestock farmers ASCOPEIRO was yet to organize common sales and purchases, while support for the members consisted mainly of technical consultancy and organized support by veterinarians.

Along São Francisco’s riverbank, there were eight fishery associations of which four were active and four waiting for a credit assignment. Active associations organized common sales and purchases of means of production. Each association accepted 12 members maximum. These associations were not included in the study, but served as a positive example for the successful implementation organized by the city of Petrolândia involving the potential members who had participated in workshops and seminars about cooperatives in advance.

Constraints of agricultural and livestock unions

Interviewed experts identified six main reasons for the failed implementation of agricultural cooperatives, which are illustrated in Figure 1. The most mentioned reason,

which is lack of capital, occurred after CHESF stopped the regular payments, contextualizing its background in the history of the cooperatives’ implementation. The experts



Figure 1 – Mentioned reasons for the failure of agricultural cooperatives and associations.

even assumed that the cooperatives had been founded exclusively to receive payments without trade-off. Consequently, there was no incentive to generate its own income, and common commercialization of produced commodities was not even considered. After the expiration of the payments, common property, such as electronic devices and furniture, were sold and the cooperatives were declared inactive. Lack of access to credits, mainly due to bureaucratic reasons, had inhibited necessary structural improvements to start economic activities to continue any kind of cooperative activity. In the case of the smaller associations, common activities failed due to members' lack of capital. For example, the association AAFE had once tried to organize common purchases of means of productions, but failed because several members had no capital available.

Seven of the 24 interviewees mentioned that cooperatives in the region failed because they did not receive any governmental support. None of the interviewed members or chairpersons of cooperatives or associa-

tions knew about governmental programs like the state-run SESCOOP-PE or the "Incubadora de Cooperativas" of the Federal Rural University of Pernambuco. Such programs provide seminars and workshops to communicate the knowledge and benefits of cooperatives. Most programs are developed in the state capital Recife and do not reach communities in the semi-arid interior.

The other four reasons can be summarized as lack of human capital. Lack of organization and leadership is a consequence of the knowledge gap about cooperatives and associations, aggravated by the general lower educational level in the semi-arid region compared to the coastal areas. Four experts shared the opinion that individualism and egoism prevented any success of cooperatives or associations. This lack of successful examples or individual failures, such as the earlier mentioned common purchase issue by the association AAFE, led to mistrust in such institutions, which is affirmed by the past failure of the other cooperatives.

Lack of market access and potentials for cooperatives and associations

Despite the past failure and actual inactivity of agricultural cooperatives and associations in the study region, experts underlined the potentials and crucial factors for a successful implementation of such organizations. Low market power and limited access to credits represented the main constraints for small family farmers in the study region. Thus, the interviewed experts indicated the main potentials of farmer organizations lie in improved commercialization, common purchases of means of production, improved access to credits, sharing farm equipment, and purchase of high quality feed.

All experts interviewed in the study region mentioned the commercialization structure as the main constraint for farmers' income generation. Since the analysis of marketing structures in the irrigation schemes around the Itaparica reservoir by Untied (2005), only a few changes were observed. Most agricultural commodities are still sold to middlemen directly on the field because most farmers do not own the means of transportation for their products and, consequently, lack alternatives to commercialize their products. Due to the lack of commercialization opportunities, middlemen dominate the market comparable to monopolies, dictate producer prices, and even bring manipu-

lated scales when collecting yields from the farmers. They also decide the sale conditions and frequently modify them after, usually verbal, contract conclusion. The middlemen even often organize harvests, which reduces the farmers' added value and provides the middlemen additional opportunities to manipulate the yields. Promised payments after resale can be reduced and parts of the harvest rejected and left on the field. The local farmer's market does not provide sufficient demand because of the low population. Furthermore, family farmers do not have the capacity to run a sales booth. The Brazilian Food Purchase Program (PAA) and School Feeding Program (PNAE) offer higher prices, but purchase small amounts, so few farmers sell small parts of their production to these programs. A coconut water factory in Apolônio Sales is the only relevant processing facility in the study region. Despite its vicinity to irrigated plots, most farmers cannot sell directly to the factory because they lack means of transportation.

Animals are also usually sold via middlemen due to lack of alternatives. Middlemen buy animals directly at the farm and resell them at the market or directly to slaughterhouses, which sell the meat directly to the local supermarkets. Similar to the case of agricultural products, scales are ma-

nipulated to reduce producer prices. In the case of weighing at the slaughterhouse, farmers have few chances to control the weight. Few animals are sold directly at the farmers' market. Farmers slaughter solely for own consumption or sell small amounts in the neighborhood.

Due to the middlemen issue, interviewed experts identified the biggest potential of cooperatives and associations in an improved sales structure as illustrated in Figure 2. Collective commercialization could strengthen the position of farmers at the expense of middlemen and was regarded as a necessary measure to successfully establish cooperatives in the study region. In the context of commercialization, experts mentioned that cooperatives should also conduct market research to identify potential markets and analyze agricultural commodity prices. Broad acquirement of means of transportation and weighing facilities could even lead to more wholesale markets (CEASA) opening and realizing higher prices than in the study region.

Five experts mentioned that cooperatives could financially support their members by provision of credits or improving the credit availability. Family farmers often lacked capital to invest in production infrastructure or inputs, especially after years of drought. Access to credit was often restricted due to lack of collateral and high bureaucratic difficulties. The five experts also mentioned shared ownership as it could permit the acquirement of agricultural machinery, whereas during the study period most fieldwork was conducted manually. Moreover, cooperatives could provide financial support to implement more efficient irrigation technologies and replace the prevailing conventional sprinkler systems.

In the opinion of four experts, many farmers were overstrained with irrigated agriculture as it was implemented in the late 1990s. Thus, they required agricultural advisors especially for the cultivation of perennial cash crops, which had rarely been cultivated in the study region before the dam construction. Cooperatives could fill this gap since the dam operator had stopped providing agricultural advice during the study period. The state-run advisory service (IPA) was not responsible for the irrigation schemes and thus concentrated on farmers outside the schemes. Agricultural advice also played a role in the implementation of new technologies.

Joint purchase of inputs could reduce the input costs, as mentioned by four experts. During the study period, only a few shops that were well connected shared the market around Petrolândia. Similar to commercialization, farmers had the weaker position in the market, received far too low prices for their products and paid far too high prices for inputs.

Most experts commented that the coconut water factory was the only value adding facility in the study region when referring to the cooperatives' role for commercialization of agricultural commodities. Three of them had the vision that cooperatives could establish more value adding industries in the region. Production of jam and sweets made from fresh fruits already existed on a small scale. Increasing this production could keep a bigger share of the added value in the region and provide income opportunities besides primary agricultural production. Only one expert did not see any potential of agricultural and livestock cooperatives in the study region.

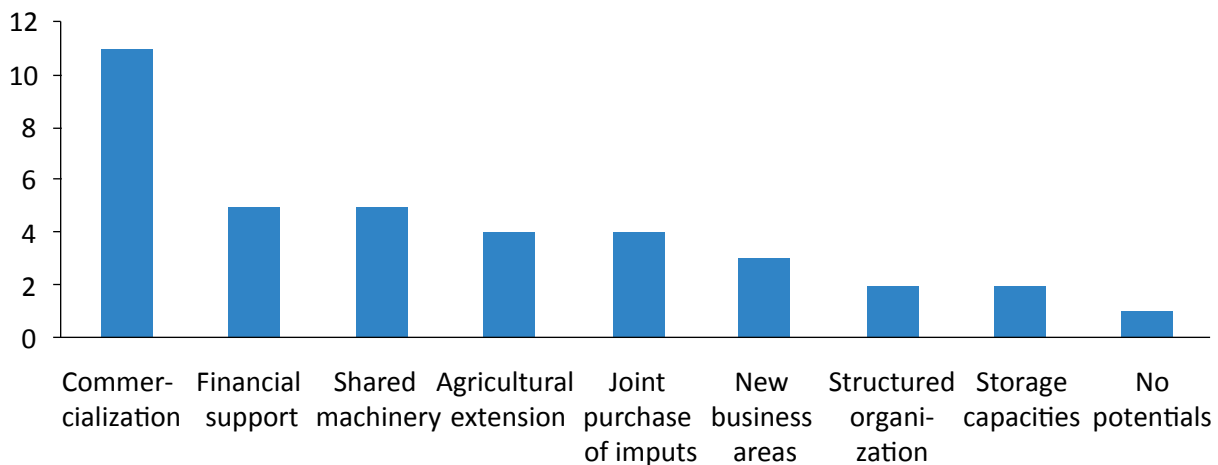


Figure 2 – Most mentioned potential of agricultural cooperatives in the study region.

DISCUSSION

Experts identified structural problems hindering the successful implementation of cooperatives and associations in Northeast Brazil. Mistrust against these forms of cooperation is based on their legal form and historical background (DUARTE & WEHRMANN, 2006; SABOURIN, 1999). In contrast to the South, where agricultural cooperatives are well established (RITOSSA & BULGACOV, 2009), major parts of the northeastern population have no positive experience with cooperative thinking (ALBUQUERQUE & CÂNDIDO, 2011). Pozzobon and Machado Filho (2007) underlined the need for organization and ethical behavior to successfully operate cooperatives. Considering the difficulties of the investigated cooperatives (Figure 1), it is obvious that these basic requirements were not present in the study region.

In the difficult environment, complicated by the resettlement process, CHESF did not consider the “State-ments on the Co-operative Identity” defined by the International Co-operative Alliance (ICA), which underline the importance of self-help and self-responsibility (ICA, 2005). Albuquerque and Cândido (2011) emphasized the importance of farmers’ own initiative in the foundation process of cooperatives. Financial incentives in form of regular payments by CHESF influenced the voluntariness in joining a cooperative. Consequently, cooperatives were founded exclusively to receive payments without following the fundamentals of cooperatives. Despite the farmers’ needs for commercialization alternatives, affordable means of production, and access to credits, the cooperatives did not implement any successful activity in these sectors. This conforms to findings of Untied (2005), who identified the top-down implementation of cooperatives by CHESF and the focus on technical assistance instead of economic activities, as reasons for the cooperatives’ failure. The poor situation of agricultural and livestock cooperatives in the study region is in contrast to the basic need of promoting cooperatives and farmers’ interest groups to increase bargaining power over product and input prices, as underlined in the report of The World Bank (1998) which analyzed the progress of the resettlements around the Itaparica Reservoir. Besides commercialization of agricultural commodities, food-processing cooperatives provide unexploited potentials to retain parts of the added value in the region (BIALOSKORSKI NETO, 2001; ORTMANN & KING, 2007).

Cooperatives are facing high competition with middlemen who are interested in individual commercialization by the farmers. Unlike the cooperatives, middlemen possess means of transportation and are well connected to the wholesale market. The importance of fast, direct transportation of agricultural commodities to the markets is due to lack of storage and cooling capacities and food processing facilities in the study region. However, before exploring these potentials, cooperatives or farmers’ associations have to be established successfully first.

The insufficient infrastructure also affects the cooperatives, limiting their access to information. Interviewees in the metropolises Recife and Curitiba mentioned governmental programs to support cooperatives by providing workshops and seminars educating existing and potential members. Rocha *et al.* (2012) stated that several governmental programs, such as PRONAF, PAA, and PNAE, have been established successfully in rural areas to support small subsistence family farmers and to improve food security. The interviewed experts also mentioned these programs, but many farmers do not benefit from them. Administrative barriers, lack of knowledge, and clientelism restrict access for individual farmers. Provision of required information, support in the application process, or even commonly organized participation at such programs could represent suitable services provided by agricultural cooperatives or associations.

Small associations of beekeepers or fishermen present positive examples of successfully operating unions. Before their foundation, potential members participated in several trainings and learned about ideals and benefits of associations. In this case, authorities provided the framework conditions without interfering or influencing the daily operations, following the recommendations by the FAO (2002) and PIREs (2004). During the study period, these associations successfully conducted common purchase and commercialization. More recent studies also indicated a positive development of the association of livestock breeders ASCOPETRO. Common purchase of feed supplements, mainly maize, could be established successfully, which led to significantly reduced feed costs (COSTA, 2014; SIEMANN, 2015). Moreover, members demanded common facilities for product processing and marketing (COSTA, 2014). Siemann (2015) also referred to future potentials of livestock cooperatives, as 41% of the 60 inter-

viewed livestock farmers in the area who were not members of a cooperative or association would like to participate in one. Main objectives were learning new practices, improving their production, improving credit access, and increasing marketing opportunities. These positive developments lead to the conclusion that smaller unions, encompassing only parts of their members' economic activities, have higher implementation potential before bigger and more complex cooperatives can be established. Duarte and Wehrmann (2006) also describe high potential for small associations, so-called cooperatives of resilience, which focus on diversification of rural production and serve mainly local markets. They recommend a focus on local markets due to high competition with big enterprises when trying to access the national or even the world market.

Finally, despite the failure of most of the agricultural cooperatives and associations in the study region, most interviewed experts mentioned the potentials and benefits of these forms of organizations. All interviewed farmers showed a general willingness to cooperate in commercialization and purchase. Only one interviewee did not believe in a successful implementation. To explore the open potentials, agricultural cooperatives should mentor smaller, less complex, fishery and beekeeping associations in the short-term and mid-term, and focus on the basic needs of their members to ensure their association with the union and maintain their motivation to participate actively. Restrictions due to inefficient cooperative laws were not analyzed in this study. However, considering the prosperous situation of cooperatives in Brazil's southern states, the legal framework seems to be appropriate for the successful implementation of cooperatives.

CONCLUSIONS

The qualitative approach based on expert interviews was chosen in order to investigate the role of agricultural cooperatives and associations in three irrigation schemes at the Itaparica Reservoir in semi-arid Northeast Brazil. Large memberships did not mirror the actual situation of the identified inactive cooperatives and associations in the region. Despite financial support during the implementation phase from the dam operator and a basic willingness to cooperate among smallholders, there were no efficiently operating agricultural cooperatives in the region.

Due to the consensus of the interviewed experts with previously conducted studies, the obtained results of the study seem clear and further quantitative research on this topic would be unnecessary. Further activities should concentrate on knowledge transfer about cooperatives and increasing the awareness and familiarity of governmental programs supporting these efforts. Despite the results of this study, the farmer production structure in the study region brings high potentials for the implementation of cooperatives or associations.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted within project "INNOVATE" (01LL0904C) and was funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF; Sustainable Land

Management Program), the Brazilian Education Ministry, and the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

REFERENCES

- ALBUQUERQUE, G.C. & CÂNDIDO, G.A. Experiências de Formação de Capital Social e Políticas Públicas de Desenvolvimento Territorial no Vale do Submédio São Francisco. *REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, v. 1, n. 1, p. 83-100, 30 set. 2011.
- ALTMAN, M. Cooperative organizations as an engine of equitable rural economic development. *Journal of Co-operative Organization and Management*, ICA Global Research Conference 2014, v. 3, n. 1, p. 14-23, jun. 2015.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Rio de Janeiro, PNUD, IPEA, Fundação João Pinheiro, 2013. Available from: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>>. Cited in: 23 May 2015.

ATTESLANDER, P. *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Berlin: Schmidt, 2010.

BIALOSKORSKI NETO, S. Virtual Cooperatives in Brazil and the Globalization Process. *Journal of Rural Cooperation*, v. 29, n. 2, p. 153-165, 2001.

CAMELO FILHO, J.V.A dinâmica política, econômica e social do rio São Francisco e do seu vale. *RDG Revista do Departamento de Geografia-USP*, v. 17, p. 83-93, 2011.

COSTA, R.M.G.S. da. *Farmers Innovations in Livestock Production Systems in Pernambuco, Brazil*. Master Thesis, Department of Animal Breeding and Husbandry in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart, 2014.

DA COSTA, A.M.A. *Sustainable dam development in Brazil: between global norms and local practices*. Bonn: Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2010.

DA SILVA, J.G. World Food Day 2012. *Message of the Director-General of FAO*. Available from: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/getinvolved/pdf/WFD_2012_EN-DIRECTOR-GENERAL-MESSAGE-ENGLISH.pdf>. Cited in: 24 May 2015.

DERR, J. B. The Cooperative Movements of Brazil and South Africa. *Sustainable Development*, v. 1, p. 1-14, 2013.

DUARTE, L.M G. & WEHRMANN M.E.S. de. Histórico do Cooperativismo Agrícola no Brasil e Perspectivas para a Agricultura Familiar. In: SABOURIN, E. *Associativismo, Cooperativismo e economia solidária no meio rural*. Brasília: CEAM, p. 13-28, 2006.

FAO. *Agricultural Cooperative Development 2002*. A Manual for Trainers. Available from: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/x0475e/x0475e.pdf>>. Cited in: 31 May 2015.

FERREIRA IRMÃO, J.; HAGEL, H.; DOLUSCHITZ, R.; HOFFMANN, C.; AMAZONAS, A. P.; FLÁVIO, A. Macroeconomic aspects of the micro-regions São Francisco and Itaparica. In: GUNKEL, G.; ALEIXA DA SILVA, J.; SOBRAL, M. C. *Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas*. Pernambuco: Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2013. p. 245-264.

HAGEL, H.; HOFFMANN, C.; DOLUSCHITZ, R. Mathematical Programming Models to Increase Land and Water Use Efficiency in Semi-arid NE-Brazil. *International Journal on Food System Dynamics*, v. 5, n. 4, p. 173-181, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2006*. Available from: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Cited in: 22 May 2015.

ICA. *Co-operative identity, values and principles*. 2005. Available from: <<http://ica.coop/en/whats-co-op/co-operative-identity-values-principles>>. Cited in: 7 Jun. 2015.

MAYRING, P. *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz, 2010.

ORTMANN, G. F.; KING, R. P. Agricultural cooperatives I: History, theory and problems. *Agrekon*, v. 46, n. 1, p. 18-46, 2007.

PIRES, M.L.L.E.S. *O cooperativismo agrícola em questão: a trama das relações entre projeto e prática em cooperativas do Nordeste do Brasil e do Leste do (Quebec) do Canadá*. [s.l.] Fundação Joaquim Nabuco, 2004.

POZZOBON, D.M. & MACHADO FILHO, C.A.P. *In search of cooperative governance: a Brazilian agricultural co-op case study*. International PENZA Conference, Ribeirão Preto, 2007. Available from: <http://www.fundacaofia.com.br/PENZA/anexos/biblioteca/1592008135938_Governan%C3%A7aCooperativas.pdf>. Cited in: 24 May 2015.

RIBEIRO, K. Á.; NASCIMENTO, D. C. do; SILVA, J. F. B. da. Cooperativismo agropecuário e suas contribuições para o empoderamento dos agricultores familiares no submédio São Francisco: o caso da associação de produtores rurais do núcleo VI – Petrolina/PE. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 19, n. 40, p. 77-101, 2013.

RITOSSA, C.M. & BULGACOV, S. Internationalization and diversification strategies of agricultural cooperatives: a quantitative study of the agricultural cooperatives in the state of Parana. *BAR-Brazilian Administration Review*, v. 6, n. 3, p. 187-212, 2009.

ROCHA, C.; BURLANDY, L.; MALUF, R. Small farms and sustainable rural development for food security: the Brazilian experience. *Development Southern Africa*, v. 29, n. 4, p. 519-529, 1 out. 2012.

SABOURIN, E.; GHISLAINE, D.; MALAGODI, E. Novos atores rurais e multifuncionalidade da agricultura no semi-árido brasileiro: um olhar crítico sobre o período 1998-2002. *Raízes - Revista de Ciências Sociais e Econômicas*, v. 22, n. 1, p. 58-72, 2004.

SABOURIN, E. Ação coletiva e organização dos agricultores no Nordeste semi-árido. *Anais... In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL*. Foz de Iguaçu, 1999. Available from: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/7976/1/OPB121.pdf>>. Cited in: 26 May 2015.

SESCOOP. Panorama do Cooperativismo Brasileiro – Ano 2011. 2012. *Relatório da gerência de monitoramento*. Available from: <http://www.ocb.org.br/gerenciador/ba/arquivos/panorama_do_cooperativismo_brasileiro___2011.pdf>. Cited in: 31 May 2015.

SIEMANN, M. *Contrasting farmer and expert knowledge for adaptation strategies to challenges in livestock production in Northeast Brazil*. Master Thesis, Department of Animal Breeding and Husbandry in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart, 2015.

THE WORLD BANK. *Recent experience with involuntary resettlement - Brazil - Itaparica*. [s.l.] The World Bank, 2 jun. 1998. Available from: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/1998/06/693486/recent-experience-involuntary-resettlement-brazil-itaparica>>. Cited in: 15 out. 2013.

UNTIED, B. *Bewässerungswirtschaft als Strategie zur Kleinbäuerlichen Existenzsicherung in Nordost-Brasilien? Handlungsspielräume von Kleinbauern am Mittellauf des São Francisco*. PhD Thesis, Geography Department, Philipps-Universität Marburg, Marburg, 2005.

UMBUZEIRO (*SPONDIAS TUBEROSA*): A SYSTEMATIC REVIEW

UMBUZEIRO (*SPONDIAS TUBEROSA*): UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Jan Mertens

Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim – Stuttgart (Baden-Württemberg), Germany.

Jarcilene Silva de Almeida-Cortez

Biological Sciences Center, Botanic Department, Universidade Federal de Pernambuco – Recife (PE), Brazil.

Jörn Germer

Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim – Stuttgart (Baden-Württemberg), Germany.

Joachim Sauerborn

Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim – Stuttgart (Baden-Württemberg), Germany.

Address for correspondence:

Jan Mertens – Garbenstr. 13–
University of Hohenheim – 70599 –
Stuttgart (Baden-Württemberg),
Germany – E-mail: J.Mertens@
uni-hohenheim.de

ABSTRACT

Spondias tuberosa Arruda, a fructiferous endemic tree of semiarid Northeast of Brazil, provides several services to its ecosystem as well as to humans. It provides feed for wild animals and domestic ruminants in addition to providing fruits that are rich in vitamins for the human diet. It is an important source of additional income for family farmers and a source for traditional therapeutic medicine. Despite the importance of this tree in northeastern Brazil, limited scientific effort have been accomplished so far towards a better understanding of the tree's physiology and interaction within the ecosystem. Earlier studies about *S. tuberosa* focused on phenology, physiology, population genetics, management practices, and socioeconomic aspects. Due to the lack of breeding and cloning programs, physiological studies and management trials were based on heterogenic plant material, which led to ambiguous results. In order to move forward with *S. tuberosa* research, especially for its genetic conservations and agro-industrial exploitation, basic breeding and intensified genetic research are urgently required. Despite the few publications on *S. tuberosa*, the tree can be considered scientifically neglected, particularly if compared with other members of the Anacardiaceae family.

Keywords: Umbuzeiro; Caatinga; fruit tree; multipurpose tree; ecosystem service.

RESUMO

Spondias tuberosa Arruda, uma árvore frutífera endêmica do semiárido do Nordeste do Brasil, oferece diversos recursos ao seu ecossistema, bem como ao ser humano. Ela fornece alimento a animais selvagens e ruminantes domésticos, além de frutas ricas em vitaminas para dieta do homem. Essa árvore é uma importante fonte de renda extra para propriedades de agricultura familiar, além de ser fonte para um medicamento terapêutico tradicional. Apesar de sua importância no nordeste do Brasil, investiu-se pouco em pesquisa até o momento para compreender melhor a fisiologia dessa árvore, e como ela interage no ecossistema. Estudos anteriores sobre a *S. tuberosa* focaram na fenologia, fisiologia, genética da população, práticas de manejo e aspectos socioeconômicos. Por causa da ausência de programas de reprodução e clonagem, estudos fisiológicos e ensaios de manejo basearam-se em material de planta heterogênea, levando a resultados ambíguos. Para que a pesquisa da *S. tuberosa* se desenvolva, em especial para sua conservação genética bem como para sua exploração agroindustrial, faz-se necessária a condução imediata de pesquisas de reprodução básica e de genética intensificada. Apesar de haver algumas poucas publicações sobre a *S. tuberosa*, é possível dizer que essa árvore tem sido negligenciada do ponto de vista científico, em especial se comparada a outros membros da família das Anacardiaceae.

Palavras-chave: Umbuzeiro; Caatinga; árvore frutífera; árvore polivalente; serviço do ecossistema.

INTRODUCTION

The fructiferous *Spondias tuberosa* known locally as Umbuzeiro or Imbuzeiro belongs to the Anacardiaceae family (LIMA, 1996), which contains several other important tropical and subtropical fruit-bearing trees such as *Mangifera indica* L., *Anacardium occidentale* L., *Pistacia vera* L., *Rhus coriaria* L., *Spondias mombin* L., and *Spondias purpurea* L.. Out of the Anacardiaceae, the genus *Spondias* is one of the most important in the Brazilian context, because of its potential for agro-industrial exploitation (SILVA JUNIOR *et al.*, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2007). *Spondias* includes 17 to 18 species with 7 to 9 species occurring in the neotropics (SILVA JUNIOR *et al.*, 2004; MILLER & SCHAAL, 2005). Among these, *S. tuberosa* is endemic to the semiarid northeast region of Brazil, which is covered with deciduous, thorny woodland vegetation called Caatinga (PRADO & GIBBS, 1993; CAVALCANTI *et al.*, 2002a; SILVA JUNIOR *et al.*, 2004; CAVALCANTI & RESENDE, 2006; SANTOS & OLIVEIRA, 2008; REIS *et al.*, 2010; ARAÚJO *et al.*, 2012). The common name Umbuzeiro is derived from the tupi-guarani indigenous word “ymb-u”, which can be translated as “the tree which gives water” (EPSTEIN, 1998; BARRETO & CASTRO, 2010). Its fruit is called Brazilian plum locally known as Umbu, Imbu, Ambu or Ombu (BARRETO & CASTRO, 2010). Umbuzeiro is considered a sacred tree, which is associated with the fact that *S. tuberosa* starts to blossom and subsequently leaves sprout before the onset of the rainy season. The tree is worshipped by indigenous tribes in spiritual rituals owing to these early signs of life in the otherwise dormant Caatinga at the end of the dry season (MACHADO *et al.*, 1997; MONTEIRO, 2007; NADIA *et al.*, 2007; NETO *et al.*, 2010). Due to its early blossom, Almeida *et al.* (2011) claim *S. tuberosa* represents an important feed resource for pollinators and nectar sucking

animals during the dry season. Scientists indicate great economic benefits of *S. tuberosa* for local smallholders and families. Borges *et al.* (2007) found that during the fruit harvest season, fruit picking and selling provide employment and is a major source of income for the dwellers in the semiarid northeast region of Brazil. The fruit of *S. tuberosa* contributes significantly to household income (DRUMOND *et al.*, 2001; REIS *et al.*, 2010; BARRETO & CASTRO, 2010). Moreover, *S. tuberosa* is considered a medicinal plant with high importance for indigenous tribes in the Caatinga (ALBUQUERQUE *et al.*, 2007, 2011). Irrespective of the significance of *S. tuberosa* for local communities and the environment of the Caatinga, the tree faces several natural and man-made threats, which affect its natural regeneration. According to the literature, the problem of natural regeneration and a possible subsequent extinction of *S. tuberosa* seem to be highly multi-factorial.

As *S. tuberosa* is not well known (NARAIN *et al.*, 1992), this work aims at raising attention to one of the economically most important native trees of the scientifically neglected semiarid northeast region of Brazil (SANTOS *et al.*, 2011b). Since the late 1980s about 100 articles on *S. tuberosa* were published, which are accessible through Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, Scopus, and WorldWideScience. Forty percent of the articles are published only in Portuguese language with an English abstract, which makes it difficult to reach a large scientific audience and may contribute to the fact that neither the general public nor the scientific community is familiar with *S. tuberosa*. We reviewed the majority of the publications mainly on biology, physiology, and management of *S. tuberosa*, which were accessible through the five databases mentioned earlier.

PHENOLOGY, ABUNDANCE, AND REPRODUCTIVE BIOLOGY

S. tuberosa is an up to 9 m tall xerophytic tree with a stunted, and strongly branched trunk of approximately 0.3 to 1.4 m in diameter, and a characteristic umbrella-like crown measuring 10 m in diameter (LIMA, 1996; CAVALCANTI, 2008). The grayish trunk sheds its bark in rectangle shaped plates (LIMA, 1996). The leaves are pinnate and of an uneven number of oval leaflets (LIMA, 1996; EPSTEIN, 1998). Seedlings of *S. tuberosa* develop a taproot system, which is substituted with fibrous

root systems within the first ten years after germination. The horizontal growth of the root system in this period is greater than its vertical development (NETO *et al.*, 2009; CAVALCANTI *et al.*, 2010), thus leading to a shallow root system, which spreads underneath the canopy area and grows up to 1.0 to 1.9 m depth (CAVALCANTI & RESENDE, 2006; CAVALCANTI *et al.*, 2010). As an adaptation to the semiarid climate, *S. tuberosa* forms root tubers, in which the tree is able to store

water, minerals, and organic solutes (LIMA, 1996; EPSTEIN, 1998; DUQUE, 2004; CAVALCANTI *et al.*, 2010). This adaptation of the tree is essential for its survival during the dry season (SILVA *et al.*, 2008a; CAVALCANTI *et al.*, 2010) and for the commencement of flowering before the onset of the wet season (MACHADO *et al.*, 1997; LIMA FILHO, 2007). An adult *S. tuberosa* tree can have several hundred tubers with a mean tuber weight of approximately 2 kg (CAVALCANTI *et al.*, 2002b; CAVALCANTI, 2008). Cavalcanti & Resende (2006) investigated 12 adult *S. tuberosa* and found in average 907 tubers per tree with a mean tuber weight of 1.5 kg. Cavalcanti *et al.* (2010) observed in average 112 tubers per tree with a mean tuber weight of 0.9 kg while exploring the root system of 10 ten-year-old trees. Besides the age of the tree, average annual precipitation is a factor which seems to affect the number of tubers per plant, as Cavalcanti *et al.* (2002b) observed a slight decrease in tubers per tree during the study period from 1995 to 1998 concomitant with and the annual precipitation dropped in the same time on the experimental plot from 348 mm to 147 mm (APAC, 2015).

S. tuberosa is abundant throughout the entire semi-arid Northeast of Brazil, in the states of Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, and in northern Minas Gerais (EPSTEIN, 1998; LIMA, 1996). Santos (1997) assumes the five regions Tanquinho, Jeremoabo, and Ipupira in Bahia, Petrolina in Pernambuco, and Pio IX in Piauí within the Caatinga as the origin of *S. tuberosa* because of the great phenotypic uniformity found within these regions. The tree requires a daily air temperature between 12°C and 38°C, relative air humidity between 30% and 90%, 2,000 to 3,000 insolation hours per year, and 400 mm to 800 mm of precipitation during the wet season from November to February. Deep, free draining soils without stagnant moisture favor its growth (EPSTEIN, 1998). Tree stand density of *S. tuberosa* varies widely within the Caatinga. The theoretical total population of *S. tuberosa* ranges from 21 million to up to 630 million individuals within an area of 845,000 km², which is covered by caatinga. Santos (1997) claims differences in climate and soil types in such a vast area did not influence evolution and phenotypic differentiation of *S. tuberosa*. Neto *et al.* (2012, 2013) confirmed this uniformity in phenotype for areas with different land use and management as well.

S. tuberosa is an andromonoecious tree with white panicle inflorescence ranging from 0.1 to 0.2 m in length (LIMA, 1996; EPSTEIN, 1998; CAVALCANTI *et al.*, 2002a; NADIA *et al.*, 2007). The inflorescence is made of up to 155 flowers on average, of which 40% are hermaphrodite and 60% are male flowers (NADIA *et al.*, 2007). Almeida *et al.* (2011) found a slightly higher number of flowers per inflorescence—176 on average—in *S. tuberosa* located within an anthropogenic influenced site, such as pastures, crop fields and/or corn (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus vulgaris* L.) or cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill.) plantations. Sixty percent of the male flowers are located at the base of the inflorescence, whereas 90% of the hermaphrodite flowers are located towards the apex of the inflorescence (NADIA *et al.*, 2007). The inflorescence has a flowering duration of two to seven days (NADIA *et al.*, 2007; LEITE & MACHADO, 2010). Depending on the region blossoms appear from September to April with a peak in November before the onset of the wet season (MACHADO *et al.*, 1997; NADIA *et al.*, 2007; LEITE & MACHADO, 2010; NETO *et al.*, 2013; MENDES, 1990; CAVALCANTI *et al.*, 2000; BARRETO & CASTRO, 2010). Neto *et al.* (2013) stated that the bloom of *S. tuberosa* is negatively correlated with occurrence of precipitation.

S. tuberosa is not especially adapted to a specific pollinator. Up to 19 insect species were observed visiting the entomophily and self-incompatible inflorescence (NADIA *et al.*, 2007; LEITE & MACHADO, 2010; ALMEIDA; ALBUQUERQUE; CASTRO, 2011). The visitors included the following orders: Hymenoptera (Apidae, Pompilidae, Vespidae), Diptera, and Lepidoptera. The Lepidoptera are considered nectar thieves and their visit does not result in pollination (NADIA; MACHADO; LOPES, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2011). Barreto *et al.* (2006) investigated the pollen load of pollinators visiting *S. tuberosa* inflorescence. They found the stingless bees *Trigona spinipes* Fabricius and *Frieseomeilitta doederleini* Friese. The red paper wasp *Polistes canadensis* Linnaeus are the most important among the pollinators, as they were exclusively loaded with pollen of *S. tuberosa*.

Reported ratios of flowers to fruits per inflorescence of *S. tuberosa* indicate a very low fruit set. Almeida *et al.* (2011) observed 0.55 fruits per flower on average. Leite & Machado (2010) found 0.01 fruits per flower after natural pollination, and this ratio increased

to 0.22 fruits per flower in cross-pollination, whereas Nadia *et al.* (2007) found 0.01 fruits per flower after natural pollination and 0.02 fruits per flower after cross-pollination. They also investigated the effect of a pollen donor and found no significant difference in pollen originated from hermaphrodite flowers or male flowers. As *S. tuberosa* flowers are self-incompatible, and no biparental inbreeding was observed of the outcrossing species, the low fruit set is unlikely a result of reduced offspring fitness due to inbreeding (FRANKHAM, 2005; KELLER & WALLER, 2002; SANTOS *et al.*, 2011a; SANTOS & GAMA, 2013) (Table 1).

The drupe is about 3.2 cm long with a diameter of 2.8 cm, and weighs about 15.4 to 21.2 g (NARAIN *et al.*, 1992; SANTOS, 1997). The form of the greenish-yellow fruit, which contains a greenish-white pulp covered by a thin skin ranges from round to oval or oblong (LIMA, 1996). Fruit weight is made up of approximately 58% pulp, 21% seed, and 21% skin. The pulp pH is about 3.1 with 9.47°Bx, and the content of titratable acids is

1.1%. Hundred gram of eatable portion of the fruit contains 0.3 g ash, 1.5 g iron, 15.6 g calcium, and 27.9 g phosphorus (NARAIN *et al.*, 1992). Additionally, it is a source of several vitamins, such as vitamin B1, B2, B3, A, and C (VIDIGAL *et al.*, 2011), and is one of few native natural vitamin C sources for human consumption in the driest regions of northeast Brazil (ARAÚJO *et al.*, 2001). The dispersal of *S. tuberosa* is exclusively zoochoric by native animals, such as gray brocket (*Mazama gouazoubira* Fischer), black-rumped agouti (*Dasyprocta prymnolopha* Wagler), collared peccary (*Pecari tajacu* Linnaeus), fox (*Dusicyon thous* Linnaeus), yellow armadillo (*Euphractus sexcinctus* Linnaeus), the argentine black and white tegu (*Tupinambis merianae* Linnaeus), greater rhea (*Rhea americana* Linnaeus), white-naped jay (*Cyanocorax cyanopogon*, Wied) as well as by human introduced cattle (*Bos taurus* Linnaeus) and goat (*Capra hircus* Linnaeus) (CAVALCANTI *et al.*, 2009; BARRETO & CASTRO, 2010; AZEVEDO *et al.*, 2013; GRIZ & MACHADO, 2001; CAVALCANTI & RESENDE, 2003).

Table 1 – Floral characteristics of *Spondias tuberosa* according to Nadia *et al.* (2007).

Floral characteristics	Hermaphrodite flower	Male flower
Calyx (sepals)	5	5
Corolla (petals)	5	5
Short stamen/ anther	5/5	5/5
Long stamen/ anther	5/5	5/5
Apocarp	1	0
Ovary per flower	1	0
Pistil	1	1

PHYSIOLOGY

Studies published about the physiology of *S. tuberosa* focus virtually only on its response to mineral fertilization, salt- and water-stress, and its juvenile development.

In a field experiment, Drumond *et al.* (2001) tested the effect of phosphorus and nitrogen fertilization combined with irrigation on *S. tuberosa* seedling growth in the first 40 months after transplanting ten-months-old seedlings. None of the treatments in their exper-

iment showed a significant difference in plant height due to the mineral fertilization or irrigation within their 40 months trial period. In contrast, Melo *et al.* (2005) found a positive response of *S. tuberosa* seedling on phosphorus and nitrogen fertilization on shoot height, shoot diameter, above ground dry matter, leaf area, and tuber diameter in their experiment in a mesh greenhouse and calculated an optimal N and P dose of 99 kg ha⁻¹ and 150 kg ha⁻¹, respectively. Based on a six-month pot experiment, Neves *et al.* (2008a) stated that

the optimal P input for best shoot growth (height and diameter), canopy area, and dry matter of root system of *S. tuberosa* seedlings is approximately 281 mg dm⁻³. They observed a negative effect on all assessed parameters beyond that input level.

Andrade *et al.* (2013) observed in a pot experiment a negative effect of N and K fertilization on the development of *S. tuberosa* seedlings, and on their rootstock and survival. The authors concluded that the N (350 – 2800 mg dm⁻³) and K (1800 – 7200 mg dm⁻³) applied doses reached toxic levels for *S. tuberosa*. Neves *et al.* (2007a, 2007b) observed in a pot experiment the highest dry matter production after application of 286 mg N dm⁻³ and 137–229 mg K dm⁻³. Beyond these doses the authors also observed a negative effect of N and K application on seedling growth. Lacerda *et al.* (2009) observed a negative effect of N application on seedling growth at only 0.65 mg dm⁻³ on their pot experiment. Additionally, they showed an increased seedling growth owing to increased Boron concentration in the growth substrate. The greatest seedling growth in the experiment was achieved when the seedling was supplied with 3 mg B dm⁻³. Since the experiment was conducted with a combined application of N and B, the authors also observed a negative interaction of both. The authors supposed that this might have been the result of an ion antagonism. These experiments mentioned earlier were carried out under different growth conditions—pot versus field experiment, and differ significantly in the growth substrate used. It is difficult to come to a conclusion based on few publications.

In a liming experiment Neves *et al.* (2008b) demonstrated a positive effect of liming on seedling growth. An increased base saturation because of liming led to an increased content of Ca, Mg, and S in shoot and leaves of *S. tuberosa* seedlings, whereas the content of N, P, K, Cu, Fe, Mn, and Zn decreased (Table 2).

Ferri & Labouriau (1952) and Ferri (1953) were the first authors discussing, inter alia, the internal water balance and stomatal behavior of *S. tuberosa* (LIMA FILHO & SILVA, 1988). Lima Filho & Silva (1988) reevaluated stomatal resistance, transpiration and leaf temperature of *S. tuberosa* at the end of the dry season and after the onset of the wet season. Differences in leaf temperature between dry and wet season could not be observed, and the observed vapor pressure deficit was also similar in both seasons. In both periods the

lowest stomatal resistance was recorded at 7:00 am and was followed by an increase, yet the increase in the dry season was more intense. The stomatal resistance during wet season was maintained at a low value almost until 1:00 pm, when consequently a high transpiration was recorded. Lima Filho (2004) detected a second peak with high stomata conductivity with subsequent high transpiration rates and photosynthesis rates during the wet season at 4:00 pm, in addition to high stomata conductivity in the morning recorded by Lima Filho & Silva (1988). Thus, *S. tuberosa* exhibits a two-peaked daily course of gas exchange. Since the stomatal resistance increased around 1:00 am, with decreased stomatal conductivity, even though environmental conditions were favorable for high transpiration, Lima Filho & Silva (1988) concluded *S. tuberosa* regulates its internal water balance according to a very strict and accentuated stomata behavior, especially under adverse conditions. Later, Lima Filho (2001) stated *S. tuberosa* has two different strategies to maintain favorable internal water balance. Under dry conditions, the author claimed, it maintains its internal water balance by expenses of water stored in the tubers and by restricted transpiration, whereas during the wet season, the internal water balance is maintained by short-term osmotic adjustments, such as uptake of additional inorganic salts or the accumulation of organic solutes (LIMA FILHO, 2001). The very strict and accentuated stomatal behavior reported by Lima Filho & Silva (1988) and Lima Filho (2001, 2004) differs among various phenotypes of *S. tuberosa*, in which some phenotypes appear to be more sensitive than others (SILVA *et al.*, 2009a) (the authors use the term genotype although the accessions in the Germplasm Bank of Umbuzeiro BGU were not categorized on genetic base [see section Population genetics]). Two of the tested phenotypes showed a correlation of stomatal behavior with air temperature, relative humidity, and vapor pressure deficit. One tested phenotype showed correlation with photosynthetic active radiation, whereas one phenotype did not show any correlation of stomatal behavior with the assessed environmental factors. The authors concluded that the observed differences in anatomical alteration in the different phenotypes, such as stomatal density, stomatal index, and stomatal aperture size, could not fully explain the physiological differences among the tested phenotypes. Changes in leaf water potential, concentration of carbohydrates, amino ac-

ids, and proline in leaves and root tubers as a response to intermittent drought differs in different phenotypes as well (SILVA *et al.*, 2009b). The concentration of proteins in *S. tuberosa* leaves and root tubers did not vary either because of induced drought, or because of different phenotypes in the same experiment. Since Silva *et al.* (2009b) observed high leaf water potential even though soil moisture reached the permanent wilting point, the strategy of maintaining favorable internal water balance by water stored in the tubers (LIMA FILHO, 2001) seems factual.

S. tuberosa seedlings show a negative response in growth on salt stress. However, when cultivated in a nutrient solution with a NaCl concentration up to 31 mM,

it proved to be moderately tolerant to salinity (NEVES *et al.*, 2004). The authors assume that this moderate tolerance to salt stress is realized owing to the tubers of the seedlings, which accumulates excess NaCl. Silva *et al.* (2008a) observed negative effects of salinity on the seedling growth if the NaCl concentration exceeded 50 mM. The authors could not detect a decreasing root/shoot ratio as reported by Neves *et al.* (2004). Owing to the increase of root/shoot ratio observed in their experiment, Silva *et al.* (2008a) stated the salinity effects are more severe on the shoot growth than root growth, which implies the root system of *S. tuberosa* is less sensitive towards salt stress than observed in other crops, such as beans (SEEMANN & CRITCHLEY, 1985) or wheat (JBIR *et al.*, 2001).

POPULATION GENETICS

In order to conserve genetic variation of *S. tuberosa*, Embrapa Semiárido (Brazilian Corporation of Agricultural Research) in Petrolina, Pernambuco, Brazil (Embrapa-CPATSA) established in 1994 a germplasm collection (Germplasm Bank of Umbuzeiro [BGU]) in its experimental site in the municipality of Petrolina. Until 2012, it contained 79 accessions with the last addition in 2002 (NASCIMENTO *et al.*, 2002, 2012). The accessions were categorized based on fruit characteristics and tree habit (NASCIMENTO *et al.*, 2002). The first approach studying the genetic variability of *S. tuberosa* was conducted in 2004 using the mixed model methodology—restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) (OLIVEIRA *et al.*, 2004). After evaluating plant height, canopy diameter, basal trunk diameter, and number of primary branches of 42 trees from three different regions, the authors concluded that the greater genetic variability is found within local *S. tuberosa*

populations compared to the variability in between populations of different ecoregions. The first study on the genetic level of *S. tuberosa* was conducted by Santos *et al.* (2008), assessing the genetic variability with the amplified fragment length polymorphism (AFLP) method. Their results objected the findings of Oliveira *et al.* (2004), as Santos *et al.* (2008) observed a high variability in between ecoregions, whereas within local populations higher similarities were observed in the resulting dendrogram. The AFLP method was also used to determine the outcrossing rate of *S. tuberosa* (SANTOS *et al.*, 2011a; SANTOS & GAMA, 2013). In both studies, which combined AFLP with the mixed mating model, a high heterozygosity in the offspring generation was observed. This observation shows that *S. tuberosa* is predominantly an outcrossing species. Since the differential of the multilocus outcrossing estimation and the single-locus estimation was small, a parental inbred could not be observed.

Table 2 – Leaf concentration of mineral nutriment if *Spondias tuberosa* seedling is balanced nutrient supplied.

Mineral nutriment	Quantity (mg g ⁻¹ dry matter)	Author
N	25.72–29.48	Neves <i>et al.</i> (2007b)
P	1.52–1.92	Neves <i>et al.</i> (2008a)
K	3.40–6.04	Neves <i>et al.</i> (2007a)
Mg	2.80–3.26	Neves <i>et al.</i> (2008b)
Ca	18.28–21.47	Neves <i>et al.</i> (2008b)

In conclusion, Santos *et al.* (2008) and Santos *et al.* (2011a) recommended numerous protection areas for *in situ* conservation of genetic variability of *S. tuberosa* or broad fruit sampling in various ecoregions

for *ex situ* genetic variability conversations. The latter already exists in form of the BGU of Embrapa even though its accessions are categorized based on phenotype characteristics.

MANAGEMENT PRACTICES

For plantations a density from 39 to 100 plants ha⁻¹ is recommended for *S. tuberosa* with a tree spacing ranging from 10 m x 10 m to 16 m x 16 m (EPSTEIN, 1998). The suggested size of the planting hole is 40 cm x 40 cm x 40 cm or 50 cm x 50 cm x 50 cm and the refill earth should be enriched with 20 l of cow manure, 300 g of simple superphosphate, and 100 g of potassium-chloride - depending on the soil type and soil fertility (EPSTEIN, 1998).

Seeds of *S. tuberosa* have naturally a very distinct dormancy, which remains an obstruction for commercial seedling production. Few, partly antithetical, research works investigated how the dormancy of *S. tuberosa* seeds can be overcome. The effect, which accounts for the natural reproduction and agro-industrial exploration discussed in literature, is the maturation of seeds after the abscission of the fruits. Araújo *et al.* (2001) showed a strong increase in germination after 24 months of seed maturation. This maturation period lead to a germination of 73.6% compared to the germination of 22.8% of freshly harvested seeds. According to the authors, only 12 months of maturation significantly increases the germination to 27.7%. According to Cavalcanti *et al.* (2006) a maturation time of 24 to 48 months leads to the highest germination percentage between 60.0% and 72.5% within 30 days after sowing. Magalhães *et al.* (2007) tested the influence of 13 different maturation periods: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, and 360 days. After a maturation period of 90 up to 210 days they observed the highest germination of 70% and a decrease in germination beyond a maturation time of 300 days. A fourth work observed the highest germination between 120 and 210 days of maturation (LOPES *et al.*, 2009), which differs only slightly from the work of Magalhães *et al.* (2007) and confirms their findings. Besides the storage period, storage conditions and fruit ripeness affect the germination, which were not consistent in the publications mentioned earlier (compare section "Conclusion").

Methods to break the dormancy of *S. tuberosa* seeds discussed in literature with importance for agro-industrial exploration are mechanical, chemical and thermal scarification, and immersion in water or growth promoting solutions such as gibberellic acid, ethylene, or cytokinin. Chemical scarification and thermal scarification are not appropriate methods to break the dormancy of *S. tuberosa* seeds. Seeds treated with these methods showed a significantly lower germination percentage than the control seeds (ARAGÃO *et al.*, 2008). Lopes *et al.* (2009) did not detect any germination after the seeds were treated with H₂SO₄ for 10 minutes. Neither Lopes *et al.* (2009) nor Melo *et al.* (2012) observed any positive effect on germination owing to treatment with growth regulating solutions. Immersion of the seeds in water for 24 hours slightly increased the germination (ARAGÃO *et al.*, 2008); however, the most appropriate method seems to be the mechanical scarification by a beveled cutting distal of the seed, introduced by Epstein (1998), to allow water to easily soak the seed. Lopes *et al.* (2009) and Aragão *et al.* (2008) observed the highest germination after such treatment. However, Neto *et al.* (2009) and Melo *et al.* (2012) stated even mechanical scarification does not break dormancy of *S. tuberosa* seeds.

According to Cavalcanti *et al.* (2002a), the most suitable substrate for *S. tuberosa* germination and greater shoot height and shoot diameter is the actual Caatinga soil. Growth substrate made of soil and cattle manure (50:50 v/v) lead to the biggest canopy area and subsequent highest dry matter (CAVALCANTI *et al.*, 2002a).

Besides the generative propagation, *S. tuberosa* can be propagated by vegetative reproduction with stem cuttings (EPSTEIN, 1998; LIMA, 1996), which is of interest for the agro-industrial use of *S. tuberosa* since the uncertain and time demanding germination will be skipped. *S. tuberosa* propagated by stem cutting is not prone to form root tubers and it is not recommended to plant such trees in areas with limited soil water availability (LIMA FILHO, 2007), unless such trees are

placed in a plantation with additional irrigation. Melo *et al.* (1997) experimented a different form of vegetative propagation to produce living germplasm for genetic conservation of *S. tuberosa*. They succeeded with micro-propagation of nodal segments of one-year-old seedlings on a Murashige and Skoog medium (MS0) (MURASHIGE & SKOOG, 1962) with 0.1 mg/l BAP (6-Benzylaminopurine, C₁₂H₁₁N₅) to obtain 2.2 new sprouts on average after one week of cultivation. In the control treatment, 1.5 shoots sprouted. They also tested IBA (C₁₂H₁₃NO₂), which seemed to hamper sprouting as did higher doses of BAP. Dutra *et al.* (2012) found IBA did not have a positive effect on growth of *S. tuberosa* in their experiment as well. Even though they claim IBA promotes root growth when used to propagate *S. tuberosa* by air layering, they could not show a significant effect of IBA concentrations on the development and growth of root tissue.

In 1990 and 1991, two works were published on successful grafting of *S. tuberosa* (MENDES, 1990; PEDROSA *et al.*, 1991), which seems to be a promising method for commercial seedling production, as grafted seedlings start to produce fruits after four years, whereas non-grafted seedlings bear fruits only after 10 years (MENDES, 1990; NASCIMENTO *et al.*, 1993). Espindola *et al.* (2004) tested how two different size classes (7–9 mm; 4–6 mm) of the scion, cleft graft, and splice graft affect the development of the grafted seedling. The viability of the seedlings after 15 days did not differ between the two grafting methods and the different methods had no influence on the development of the seedlings within the first 45 days. However, the authors observed that larger scions significantly formed more sprouts than the smaller ones. A similar effect of diameter was noted by Gomes *et al.* (2010), who investigated the effect of rootstock diameter and grafting method on seedling development. They observed a positive

effect in larger diameter rootstock on the growth of grafted seedlings within the first 120 days regardless of the grafting method. In their experiment, the success of the grafting was dependent on the method chosen. The fixation of the scion was significantly higher if the splice graft was conducted regardless of the rootstock diameter. This was already observed by Araújo & Neto (2002) in their experiment. Additionally, the author stated neither the physiological nor phenological state of a tree the scion is taken from, has influence on the success of grafting, which allows grafting throughout the entire year. Six months after germination, *S. tuberosa* seedlings can already be used as rootstock for grafting, and the ability will not change until the rootstock exceeds six years of age. After six years, the success rate of grafting reduces gradually (REIS *et al.*, 2010). The effect of grafting on the tuber production of *S. tuberosa*, as seen under stem cutting conditions, has not yet been investigated.

Narain *et al.* (1992) identified an absence of plantations of *S. tuberosa*. The fruit production of Brazilian plum is limited to extractivism. Neto *et al.* (2010) observed the management of *S. tuberosa* is limited to tolerance of native trees, fruit picking, and in particular cases, protection manners against an abundant epiphyte, *Tilandsia* sp. In addition, little is known about pest and diseases of *S. tuberosa* and its fruits. Pests and pathogens associated with *S. tuberosa* are *Phasmatodea* spp., *Diabrotica speciosa* Germar, *Megalopyge lanata* Stoll, *Cryptotermes* spp., *Pinnaspis* spp., *Elsinoë* spp., *Sep-toria* spp., *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spauld. & H. Schrenk, and *Guignardia* spp. (FREIRE & BEZERRA, 2001; NEVES & CARVALHO, 2005; TAVARES *et al.*, 1998). Two fruit flies, *Ceratitis capitata* Wiedemann, and *Anastrepha obliqua* Macquart, are associated with the Brazilian plum and are considered as postharvest pests (ARAUJO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2008b).

ECONOMIC ASPECTS

S. tuberosa is considered a multipurpose tree whose foliage is used for animal feed, and its fruits and root-tubers contribute to human diet. It also generates fuelwood, and its bark, bast and resin are utilized for therapeutic practices (LIMA, 1996; EPSTEIN, 1998; ALBUQUERQUE *et al.*, 2007; NETO *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2009c). To ban the utilization of *S. tuberosa* as fuelwood, a draft law (Law Project Nº 3.548) to

prohibit felling the tree was introduced in 2004 (DUARTE, 2004).

The fruit itself is the most important product of *S. tuberosa*. It is consumed in Brazil *in natura* or processed as juice, sweet, jam, ice cream, and *umbuzada* (fruit pulp boiled with milk and sugar) (NARAIN *et al.*, 1992; NETO *et al.*, 2010). Frozen industrial processed fruit

pulp is also exported to several European countries (NARAIN *et al.*, 1992). The reported annual yields of *S. tuberosa* vary largely. Santos (1999) observed annual yields in 16 trees ranging from 4.2 kg to 184.0 kg of fresh fruits per tree, with a mean of 61.5 kg. Cavalcanti *et al.* (2008) reported annual yields ranging from 206.9 kg to 531.2 kg of fresh fruits per tree with a mean of 323.6 kg based on 66 trees. As Cavalcanti *et al.* (2011) noted an increase of fruit production owing to additional irrigation, the observed wide range in fruit yield may primarily be due to the great variation in precipitation throughout the Caatinga. Especially the precipitation in the beginning of the rain season from November to December is very important for yield formation (CAVALCANTI *et al.*, 2011). Fruit yield per tree increases in strong correlation to the canopy diameter

(SANTOS & NASCIMENTO, 1998). Thus, the variation in yield seems to be primarily defined by climatic factors and tree age (Table 3).

Family farmers involved in Brazilian plum harvest in 2007 generated an averaged additional income of 670 BRL within 55 days of harvest, which equals about two minimum wages (CAVALCANTI, 2008). If harvesting farmers or cooperatives additionally process the fruits, their benefits could increase approximately 1,025%, owing to adding value (BARRETO & CASTRO, 2010). In 2012, 7,979 t of Brazilian plum were harvested, which generated a monetary value of approximately US\$ 3,820,500 (Table 4). This underlines the economic importance of the Brazilian plum commercialization for the rural communities, especially if processing is done in the communities. Using the root tubers of *S. tuberosa*

Table 3 – Chemical composition of 100 g of the eatable portion of Brazilian plum, modified from Narain *et al.* (1992).

Constituents	
Moisture [g]	87.25
Fat [g]	0.85
Protein [g]	0.31
Crude fiber [g]	1.04
Total sugars [g]	5.38
Starch [g]	1.41
Tannin [g]	0.12
Ascorbic acid [mg]	15.80

Table 4 – Quantity and value of Brazilian plum harvest in 2012 (IBGE, 2015). 1 BRL ≈ 0.50 USD in 2012.

Federal State	Quantity (t)	Value (1,000 BRL)
Piauí	56	55
Ceará	38	53
Rio Grande do Norte	231	453
Paraíba	83	59
Pernambuco	403	281
Alagoas	34	25
Bahia	7,010	6,615
Minas Gerais	124	100

seedlings to produce pickles could generate further income for family farmers. Pickles produced of 120 days old seedlings, cultivated in washed sand and pickled with salt and ascorbic acid show a high consumer acceptance (CAVALCANTI *et al.*, 2004). To produce the needed seedlings, the authors suggested using seeds that remain from pulp or juice production, as they are already available.

A further branch of commercial exploration of *S. tuberosa* might be the oil obtained from seed kernels. The oil content of the kernels, approximately 56%, is very high compared to cashew nut (46%) or sesame seeds (49%) (BORGES *et al.*, 2007). The authors observed a favorable ratio of the oleic and linoleic fatty acids, and a high content of minerals. They suggested the oil of *S. tuberosa* may be an edible oil for food enrichment and even utilized as frying oil. Screening the oil for toxins or allergenic factors was not carried out (Table 5).

The foliage of *S. tuberosa*, which is utilized for animal feed, has a slightly higher content of crude protein during the wet season compared with other native Caatinga species, which makes it an interesting alternative animal feed (LIMA, 1996; CAVALCANTI *et al.*, 2004). The crude protein content of the foliage drops by 31% during dry season and, consequently, the *in vitro* digestibility drops from 46% to 40%. Cavalcanti *et al.* (2004) quantified the amount of foliage consumed by Caprinae during wet and dry season per *S. tuberosa*. The authors observed that Caprinae consume approximately 19 kg foliage per tree during the wet season and approximately 39 kg foliage per tree during the dry season and concluded that *S. tuberosa* is a very important alternative food source for animal husbandry in the semi-arid Northeast of Brazil. During fruit season, *S. tuberosa* contributes considerably to animal nutrition too, as one goat consumes more than ten thousand fruits per fruit season, which equals to approximately 131 kg of Brazilian plum (RESENDE *et al.*, 2004).

Table 5 – Fatty acids composition of Brazilian plum kernel and other oil plants, compiled from Borges *et al.* (2007), Ivanov *et al.* (2010), Wang *et al.* (2012), and Were *et al.* (2006).

	Fatty acids composition (%)					Ratio oleic/linoleic acid
	16:0	18:0	18:1	18:2	20:0	
Brazilian plum kernel oil	19.4	11.3	34.4	33.7	0.6	1/0.98
Sesame seed oil	8.2	4.9	37.6	47.8	0.5	1/1.27
Peanut oil	11.0	3.3	43.2	35.0	1.6	1/0.81
Soybean oil	17.0	5.2	16.0	47.6	1.4	1/2.98

SPONDIAS TUBEROSA, A MEDICAL PLANT

Among the dwellers and indigenous tribes of the Caatinga, *S. tuberosa* is considered a medical plant (ALBUQUERQUE & OLIVEIRA, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2007, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2010; NETO *et al.*, 2010; FERREIRA JÚNIOR *et al.*, 2011). Interviews with local communities reveal that in traditional therapeutic practices, bark, bast, leaves, fruits, roots, and resin of *S. tuberosa* are used to treat numerous symptoms, such as conjunctivitis, ophthalmia, venereal diseases, digestive problems, colic, diarrhea, diabetes, menstrual disturbances, renal infection, throat afflictions, kidney inflammation, tooth pain, and “not healing cut” (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011; FERREIRA JÚNIOR *et al.*, 2011).

None of the publications above mentioned which plant parts are used for which purposes and whether the plant parts are utilized *in natura*, as extraction or infusion. The therapeutic efficacy of *S. tuberosa* drugs may be a result of the high content of tannins and flavonoids detected in bark and fruit, which are considered as wound-healing and anti-inflammatory active (ARAÚJO *et al.*, 2008). The content of tannin and antioxidant activity varies in plants owing to environmental and genotypic factors, and plant age as summarized by Araújo *et al.* (2012). The same authors investigated whether different habitats influence the tannin content and antioxidant activity in *S. tuberosa*. They observed a sig-

nificant difference in antioxidant activity owing to the collection site, whereas the tannin concentration did not show significant difference. Since other studies showed a correlation between tannin concentration and antioxidant activity (HE *et al.*, 2011; AOUDIA *et al.*, 2013), Araújo *et al.* (2012) concluded that the antioxidant activity of *S. tuberosa* might be influenced by other metabolites, whose production and accumulation is more sensitive to differences in habitat.

Besides traditional therapeutic practices, *S. tuberosa* became the focus of academic medicine as well. In 1997, 75 Brazilian plant species, including *S. tuberosa*, were screened for antitumor active extracts (MORAES *et al.*, 1997; PESSOA *et al.*, 2006). Moraes *et al.* (1997) reported an inhibition of Walker's tumor growth of 18% after treating with a crude hydroalcoholic extract of *S. tuberosa* bark. As the authors considered the extracts active if the inhibition exceeded 40%, the extract of *S. tuberosa* was not considered antitumor active. *S. tuberosa* may provide a breakthrough for the development of an anti-dengue virus agent. The recently

developed and tested anti-dengue virus vaccine—the Sanofi Pasteur dengue vaccine—provides protection against dengue virus type 1, 3, and 4 but does not provide significant protection against dengue virus type 2 (DENV 2) (BÄRNIGHAUSEN *et al.*, 2013). *S. tuberosa* research may not provide a solution for the vaccination dilemma, but it shows promising results for developing an anti-dengue virus agent. Silva *et al.* (2011) tested secondary metabolites, phenolic compounds, of *S. tuberosa* and *Spondias mombin* for their antiviral activity against DENV 2. The authors identified two flavonoids in the leaf extract of the two *Spondias* species with antiviral activity—rutin and quercetin—and only in *S. tuberosa* both were present (Table 6). Rutin and quercetin showed *in vitro* a viral inhibiting effect of DENV 2 in C_{6/36} cells of 68.42% and 50%, respectively. In conclusion, the author stated that rutin and quercetin extracted from *S. tuberosa* leaves have potential for the development of an anti-DENV 2 agent. However, further studies with other cell lines and *in vivo* survey are required to affirm the effectiveness of these flavonoids against DENV 2 (SILVA *et al.*, 2011).

Table 6 – Quantities of flavonoids in *Spondias* species, modified from Silva *et al.* (2011).

Components	<i>S. mombin</i> (mg/g extract)	<i>S. tuberosa</i> (mg/g extract)
Rutin	n.d.*	53.38
Quercetin	41.56	169.76

*not detected

CONCLUSION

To date *S. tuberosa* is hardly domesticated (NETO *et al.*, 2012), and all experiments were virtually conducted with wild types. Additionally, no homogeneous plant material is available. The highest uniformity in plant material was achieved by grafting *S. tuberosa* seedlings at Embrapa Semiárido. Even though the scions are obtained from the same tree as well as the seeds, which formed the rootstock, the grafted seedlings are not genetically identical. Because seeds from the same stock plant are genetically heterogeneous, which is caused by self-incompatible and outcrossing feature of the reproduction system of *S. tuberosa*. In addition, some publications use the term clone or genotype erroneously for grafted *S. tuberosa* seedlings from

Embrapa Semiárido. To the best of our knowledge, neither cloning nor breeding was successfully executed to date. Owing to the lack of clones or hybrids, physiological studies conducted on *S. tuberosa* seedlings are difficult to interpret since observed outcomes may have resulted from the genetic diversity and not from applied treatments. Moreover, grafting of *S. tuberosa* is the key method for its commercial propagation in tree nurseries to obtain refined seedlings for a fast fruit production.

Besides the heterogeneity of the used plant material, comparing existing results with each other faces further constraints, which we want to illustrate with the results from the P fertilization experiments and the

seed maturation experiments. Consulting literature for the optimal P fertilization is a difficult task owing to the lack of methodological consistency among the studies. On the one hand, there are field experiments, and on the other hand, pot experiments using different bases for calculating the fertilizer dose: per plant versus per hectare versus per soil volume. Whereof the calculation based on weight per volume is rather unorthodox. Therefore, it is difficult to compare the results concerning the response of *S. tuberosa* seedlings on P fertilization. This shows a dilemma in *S. tuberosa* research, as only few studies, which are hardly comparable owing to the lack of standardization on the units used in the fertilizer application, are available. A unit, which can be supposedly deduced from the three P fertilization experiments published, is g plant⁻¹. This unit is not precise, in addition to being unserviceable.

The partly opposing findings on germination after seed maturation may result from the inconsistent conditions of the seeds storage during maturation. Araújo *et al.* (2001), Magalhães *et al.* (2007), and Lopes *et al.* (2009) stored the seeds under controlled conditions with 10°C, 22.5°C, 25°C, respectively. Only Cavalcanti *et al.* (2002a) stored the seeds under ambient conditions in dry soil, which comes close to natural conditions seeds encounter in the Caatinga. The antithetical findings may also have occurred owing to differences in the maturation of the fruits. Souza *et al.* (2005) observed a significant effect of degree of ripeness of the fruit itself on the germination of *S. tuberosa* seeds. The other authors mentioned previously did not comment on degree of ripeness of their experimental material or neglected this information. Therefore, the results are again difficult to compare owing to different experimental setups and to the lack of methodological consistency.

S. tuberosa research in general is not yet very advanced and lacks accessibility. For instance, Scopus shows only 58 hits for *S. tuberosa* in the time period between 1980 and 2015, whereas other wider distributed and economically more important members of the family Anacardiaceae, such as mango and cashew, generated 522 and 521 hits respectively in the same period. The lack of scientific work was also noted by Neves & Carvalho (2005) in their publication. The scarce availability of studies about *S. tuberosa* is present in all aspects of its research, and only a few researchers and research groups worked on *S. tuberosa*, which is reflected in the little number of different authors and their recurrence. Despite its economic and medical potential for northeast region of Brazil, we consider *S. tuberosa* scientifically neglected to date. In order to progress in *S. tuberosa* research, we suggest focusing on following research fields:

- Vegetative propagation/ cloning;
- Breeding and establishing cultivars;
- Management practices;
- Utilization as medical plant and oil source;

To increase the understanding of *S. tuberosa*, especially for its further agro-industrial exploitation and its medical use, scientific effort is still required. To avoid a depletion of the natural *S. tuberosa* population, efforts are required in breeding and management practices in order to shorten the time between germination and first fructification to make *S. tuberosa* plantations profitable. Simultaneously, efforts are required to understand *S. tuberosa* in its habitat, with its problematic reproduction in mind, in order to maintain and protect its genetic diversity.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the German-Brazilian joint research project INNOVATE (Interplay between the multiple uses of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystems). The project is funded by the German Federal Ministry of Education and

Research (BMBF) under project number 01LL0904B and the Brazilian Ministry of Education. The first author would also like to thank for the support by the Foundation fiat panis Ulm, Germany. The sole responsibility for the content of this publication lies with the authors.

REFERENCES

- ALBUQUERQUE, U. P. de; MEDEIROS, P. M. de; ALMEIDA, A. L. de; MONTEIRO, J. M.; LINS NETO, E. M. de F.; MELO, J. G. de; SANTOS, J. P. dos. Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 114, n. 3, p. 325-354, 2007.
- Albuquerque, U. P. de; Soldati, G. T.; Sieber, S. S.; Medeiros, P. M. de; Sá, J. C. de; Souza, L. C. de. Rapid ethnobotanical diagnosis of the Fulni-ô Indigenous lands (NE Brazil): Floristic survey and local conservation priorities for medicinal plants. *Environment, Development and Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 277-292, 2011.
- ALBUQUERQUE, U. P. de; OLIVEIRA, R. F. de. Is the use-impact on native caatinga species in Brazil reduced by the high species richness of medicinal plants? *Journal of Ethnopharmacology*, v. 113, n. 1, p. 156-170, 2007.
- ALMEIDA, A. L. S.; ALBUQUERQUE, U. P. de; CASTRO, C. C. Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 75, n. 4, p. 330-337, 2011.
- ALMEIDA, C. de F. C. B. de R.; RAMOS, M. A.; AMORIM, E. L. C. de; ALBUQUERQUE, U. P. de. A comparison of knowledge about medicinal plants for three rural communities in the semi-arid region of northeast of Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 127, n. 3, p. 674-684, 2010.
- ALMEIDA, C. C. de S.; LEMOS CARVALHO, P. C. de; GUERRA, M. Karyotype differentiation among *Spondias* species and the putative hybrid Umbu-cajá (Anacardiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 155, n. 4, p. 541-547, 2007.
- ANDRADE, M. W. de; MENDONÇA, V.; HAFLE, O. M.; MEDEIROS, P. V. Q. de. Adubos nitrogenados e potássicos na produção de porta-enxertos de Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). *Revista Caatinga*, v. 26, n. 4, p. 117-122, 2013.
- AOUDIA, H.; OOMAH, B. D.; ZAID, F.; ZAIDI-YAHIAOUI, R.; DROVER, J. C. G.; HARRISON, J. E. Phenolics, antioxidant and anti-inflammatory activities of *Melia azedarach* extracts. *International Journal of Applied Research in Natural Products*, v. 6, n. 2, p. 19-29, 2013.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. *Sistema de informação geográfica*. Available from: <<http://www.apac.pe.gov.br/sighepe/>>. Accessed on: 18 jul. 2015.
- ARAGÃO, F. A. S. de; SOUZA, F. X. de; TORRES, S. B. Otimização da quebra de dormência de sementes de umbu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. *Anais...Vitória: ISTH*, 2008. CD-ROM.
- ARAÚJO, T. A. de S.; Alencar, N. L.; Amorim, E. L. C. de; Albuquerque, U. P. de. A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 120, n. 1, p. 72-80, 2008.
- ARAÚJO, F. P. de; SANTOS, C. A. F.; CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de. Influência do período de armazenamento das sementes de umbuzeiro na sua germinação e no desenvolvimento da plântula. *Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa*, v. 26, n. 2 p. 36-39, 2001.
- ARAÚJO, F. P. de; NETO, M. T. de C. The influence of physiological factors on grafting of umbú at different time of the year. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 24, n. 3, p. 752-755, 2002.
- ARAÚJO, E. L.; MEDEIROS, M. K. M.; SILVA, V. E.; ZUCCHI, R. A. Fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Semi-Arid Region of the State of Rio Grande do Norte, Brazil: host plants and infestation indices. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 6, p. 889-894, 2005.
- ARAÚJO, T. A. de S.; ALMEIDA E CASTRO, V. T. de; AMORIM, E. L. de; ALBUQUERQUE, U. P. de. Habitat influence on antioxidant activity and tannin concentrations of *Spondias tuberosa*. *Pharmaceutical Biology*, v. 50, n. 6, p. 754-759, 2012.
- AZEVEDO, C. S. de; Silva, M. C. da; Teixeira, T. P.; Young, R. J.; Garcia, Q. S.; Rodrigues, M. Effect of passage through the gut of Greater Rheas on the germination of seeds of plants of cerrado and caatinga grasslands. *Emu*, v. 113, n. 2, p. 177-182, 2013.

BÄRNIGHAUSEN, T.; BLOOM, D. E.; CAFIERO, E. T.; O'BRIEN, J. C. Valuing the broader benefits of dengue vaccination, with a preliminary application to Brazil. *Seminars in Immunology*, v. 25, n. 2, p. 104-113, 2013.

BARRETO, L. S.; LEAL, S. M.; ANJOS, J. C.; CASTRO, M. S. Tipos polínicos dos visitantes florais do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae), no território indígena Pankararé, Raso da Catarina, Bahia, Brasil. *Candombá - Revista Virtual*, v. 2, n. 2, p. 80-85, 2006.

BARRETO, L. S.; CASTRO, M. S. de. *Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do umbu*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

BORGES, S. V.; MAIA, M. C. A.; GOMES, R. de C. M.; CAVALCANTI, N. B. Chemical composition of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam) seeds. *Química Nova*, v. 30, n. 1, p. 49-52, 2007.

BRASÍLIA. Projeto de Lei Nº 3.548, de 2004. Dispõe sobre a proibição da derrubada do umbuzeiro em todo país, e dá outras providências. Câmara dos Deputados, 2004.

CAVALCANTI, N. de B.; SANTOS, C. A. F.; BRITO, L. T. de L.; ANJOS, J. B. dos. *Picles do xilopódio do umbuzeiro (Spondias tuberosa Arruda)*. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004. Available from: <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/154727/1/BPD64.pdf>. Accessed on: 18 jul. 2015.

CAVALCANTI, N. de B. Aspectos do crescimento, desenvolvimento e manejo cultural do imbuzeiro. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA JÚNIOR, J. S. DE; SILVA JÚNIOR, J. F. DA (Eds.). *Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins*. Capítulo em livro. Recife: IPA/ Embrapa Agroindústria Tropical/ UFRPE, 2008. p. 127-134.

CAVALCANTI, N. De B.; DRUMOND, M. A.; RESENDE, G. M. de. Uso das folhas do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) na alimentação de caprinos e ovinos no Semiárido Nordeste. *Agrossilvicultura*, v. 1, n. 2, p. 131-134, 2004.

CAVALCANTI, N. De B.; RESENDE, G. M. de. Consumo de frutos e predação de sementes do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) pelo canção (*Cyanocorax cyanopogon*). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54., 2003, Belém. Anais...Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi/Embrapa Amazônia Oriental, 2003. CD-ROM.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de. Ocorrência de Xilopódio em Plantas nativas de Imbuzeiro. *Revista Caatinga*, v. 19, n. 3, p. 287-293, 2006.

CAVALCANTI, N. de B.; LIMA, J. L. S.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. Ciclo reprodutivo do imbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Cam.) no semi-arido do Nordeste brasileiro. *Revista Ceres*, v. 47, n. 272, p. 421-439, 2000.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. Emergência e crescimento do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) em diferentes substratos. *Revista Ceres*, v. 49, n. 282, p. 97-108, 2002a.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. Levantamento da produção de xilopódio e os efeitos de sua retirada sobre a frutificação e persistência de plantas nativas de imbuzeiro (*spondias tuberosa* Arr. Cam.). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 5, p. 927-942, 2002b.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. Regeneração natural e dispersão de sementes do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) no sertão de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 342-357, 2009.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. O Crescimento de Plantas de Imbuzeiro (*Spondias tuberosa* ARRUDA) no semiárido de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 21-31, 2010.

CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; BRITO, L. T. de L. Irrigação suplementar do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda). *Engenharia Ambiental*, v. 8, n. 2, p. 252-264, 2011.

- CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M. de; DRUMOND, M. A. Período de dormência de sementes de imbuzeiro. *Revista Caatinga*, v. 19, n. 2, p. 135-139, 2006.
- CAVALCANTI, N. de B.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. de L. Densidade e produtividade de plantas nativas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arruda) na caatinga da Bahia e Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE UMBU, CAJÁ E ESPÉCIES AFINS, 2008, Recife. *Anais...* Recife: IPA/ Embrapa Agroindústria Tropical/UFRPE, 2008. CD-ROM. Accessed on: 18 jul. 2015.
- DRUMOND, M. A.; NASCIMENTO, C. E. S.; MORGADO, L. B. Desenvolvimento inicial do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) no semi-árido pernambucano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMIÁRIDO, 3., 2001, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. CD-ROM.
- DUQUE, J. G. *O Nordeste e as lavouras xerófilas*. 4. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 330p.
- DUTRA, T. R.; Massad, M. D.; Sarmento, M. F. Q.; Oliveira, J. C. de. Indolebutyric acid and substrates on *Spondias tuberosa* layering. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 424-429, 2012.
- EPSTEIN, L. A riqueza do umbuzeiro. *Revista Bahia Agrícola*, v. 2, n. 3, p. 31-34, 1998.
- ESPINDOLA, A.; Almeida, C.; Carvalho, N.; Roza, M. Diâmetro do caule e método de enxertia na formação de mudas de Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). *Current Agricultural Science and Technology*, v. 10, n. 3, 2004.
- FERREIRA JÚNIOR, W. S.; LADIO, A. H.; ALBUQUERQUE, U. P. de. Resilience and adaptation in the use of medicinal plants with suspected anti-inflammatory activity in the Brazilian Northeast. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 138, n. 1, p. 238-252, 2011.
- FERRI, M. G. Water balance of plants from Caatinga II. Further information on transpiration and stomata behavior. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 3, n. 13, p. 237-244, 1953.
- FERRI, M. G.; LABOURIAU, L. G. Water balance of plants from “caatinga” I. Transpiration of some of the most frequent species of the “caatinga” of Paulo Afonso (Bahia) in the rainy season. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 3, n. 12, p. 301-312, 1952.
- FRANKHAM, R. Genetics and extinction. *Biological Conservation*, v. 126, n. 2, p. 131-140, 2005.
- FREIRE, F. C. O.; BEZERRA, J. L. Foliar endophytic fungi of Ceará State (Brazil): a preliminary study. *Summa Phytopathologica*, v. 27, n. 3, p. 304-308, 2001.
- GOMES, W. A.; Mendonça, R. M. N. de; Souza, E. P.; Estrela, M. A.; Melo, V. S.; Silva, S. M.; Souza, A. P. de. Graft and diameter of stock on obtaining seedlings of umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) from the orange access. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 3, p. 952-959, 2010.
- GRIZ, L. M. S.; MACHADO, I. C. S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v. 17, n. 02, p. 303-321, 2001.
- HE, Z.; FU, M.; MAO, L. Total phenolic, condensed tannin and antioxidant activity of four *Carya* species from China. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 51, p. 10472-10477, 2011.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *A produção da extração vegetal e da silvicultura*. 2012. Available in: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2012/default_ods_mesor_mic_mun.shtm>. Accessed on: 8 jul. 2015.
- IVANOV, D. S.; LEVIĆ, J. D.; SREDANOVIĆ, S. A. Fatty acid composition of various soybean products. *Food and Feed Research*, v. 2, p. 65-70, 2010.
- JBIR, N.; CHAÏBI, W.; AMMAR, S.; JEMMALI, A.; AYADI, A. Root growth and lignification of two wheat species differing in their sensitivity to NaCl, in response to salt stress. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III, Sciences de la vie*, v. 324, n. 9, p. 863-868, 2001.

- KELLER, L. F.; WALLER, D. M. Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 17, n. 5, p. 230-241, 2002.
- LACERDA, J. S. de; PEREIRA, W. E.; DIAS, T. J.; FREIRE, J. L. de O.; BRITO NETO, J. F.; COSTA, D. de S.; OLIVEIRA, C. J. de. Avaliação do crescimento de porta-enxertos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em substratos adubados com nitrogênio e boro. *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 519-531, 2009.
- LEITE, A. V. de L.; MACHADO, I. C. Reproductive biology of woody species in Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 74, n. 11, p. 1374-1380, 2010.
- LIMA, J. L. S. de. *Plantas forrageiras das Caatingas usos e potencialidades*. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA/PNE/RBG-KEW, 1996.
- LIMA FILHO, J. M. P. Internal water relations of the umbu tree under semi-arid conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, n. 3, p. 518-521, 2001.
- LIMA FILHO, J. M. P. Gas exchange of the umbu tree under semi-arid conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 2, p. 206-208, 2004.
- LIMA FILHO, J. M. P. Water status and gas exchange of umbu plants (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) propagated by seeds and stem cuttings. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, n. 2, p. 355-358, 2007.
- LIMA FILHO, J. M. P.; SILVA, C. M. M. de S. Aspectos fisiológicos do umbuzeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 23, n. 10, p. 1091-1094, 1988.
- LOPES, P. S. N.; MAGALHÃES, H. M.; GOMES, J. C.; BRANDÃO JÚNIOR, D. da S. Overcoming dormancy of “umbuzeiro” seeds (*Spondias tuberosa*, Arr. Câm.) by using different methods. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 3, p. 872-880, 2009.
- MACHADO, I. C. S.; BARROS, L. M.; SAMPAIO, E. V. S. B. Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica*, v. 29, n. 1, p. 57-68, 1997.
- MAGALHÃES, H. M.; Gomes, J. G.; Lopes, P. S. N.; Júnior R. D. da S. B.; Fernandes, R. C. Superação da dormência em sementes de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câmara) submetidas a diferentes épocas de armazenamento. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 2, p. 1336-1339, 2007.
- MELO, A. P. C. de; Seleguini, A.; Castro, M. N.; Meira, F. de A.; Gonzaga, J. M. da S.; Haga, K. I. Superação de dormência de sementes e crescimento inicial de plântulas de umbuzeiro. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 4, p. 1343-1350, 2012.
- MELO, A. S. de; GOIS, M. P. P.; BRITO, M. E. B.; VIÉGAS, P. R. A.; ARAÚJO, F. P. de; MELO, D. L. M. F.; MENDONÇA, M. da C. “Umbuzeiro” rootstocks development as an answer for fertilization with nitrogen and phosphorous. *Ciência Rural*, v. 35, n. 2, p. 324-331, 2005.
- MELO, N.; FÁRI, M.; TEIXEIRA, J. In vitro cultivation of nodal segments of the umbu tree [*Spondias tuberosa* (Arr.) Cam]. *Acta Horticulturae*, v. 447, p. 535-538, 1997.
- MENDES, B. V. *Umbuzeiro (Spondias tuberosa Arr. Cam.): importante fruteira do semi-arido*. Mossoró ESAM, 1990. 67 p. (ESAM. Coleção Mossoroense, Série C, v. DLXIV).
- MILLER, A.; SCHAAL, B. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, n. 36, p. 12801-12806, 2005.
- MONTEIRO, A. A. Patrimônio cultural, luta e identidade. Os indígenas Pankararu em São Paulo. In: LIMA FILHO, M. F.; ECKERT, C.; BELTRÃO, J. F. (Eds). *Antropologia e patrimônio cultural: diálogos e desafios contemporâneos*. Blumenau: Nova Letra, 2007. p. 157-174.
- MORAES, M. O.; Fonteles, M.C.; Moraes, M. E. A.; Machado, M. I. L.; Matos, F. J. A. Screening for anticancer activity of plants from the Northeast of Brazil. *Fitoterapia*, v. 68, n. 3, p. 235-240, 1997.

- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.
- NADIA, T. DE L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Pollination of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) and analysis of pollinators share with *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), fruit species endemic to the "caatinga". *Brazilian Journal of Botany*, v. 30, n. 1, p. 89-100, 2007.
- NARAIN, N.; BORA, P. S.; HOLSCHUH, H. J.; VASCONCELOS, M. A. da S. Variation in physical and chemical composition during maturation of umbu (*Spondias tuberosa*) fruits. *Food Chemistry*, v. 44, n. 4, p. 255-259, 1992.
- NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, V. D.; NUNES, R. D.; ALBUQUERQUE, T. D. Propagação vegetativa do umbuzeiro. Congresso Florestal Panamericano. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. *Anais...Curitiba: Sociedade Brasileira da Silvicultura/ Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais*, 1993
- NASCIMENTO, C. E. de S.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. Banco de germoplasma do umbuzeiro: novos acessos e avaliações preliminares aos oito anos de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. *Anais... Belém: SBF*, 2002. CD-ROM.
- NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, V. R. de; SANTOS, C. A. F.; DRUMOND, M. A. Caracterização de acessos do Banco de Germoplasma de Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) - BGU da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2012, Belém. *Anais... Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos*, 2012. CD-ROM.
- NETO, E. M. de F. L.; PERONI, N.; MARANHÃO, C. M. C.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. de. Analysis of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae)) in different landscape management regimes: a process of incipient domestication? *Environmental monitoring and assessment*, v. 184, n. 7, p. 4489-4499, 2012.
- NETO, E. M. de F. L.; ALMEIDA, A. L.; PERONI, N.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Phenology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) under different landscape management regimes and a proposal for a rapid phenological diagnosis using local knowledge. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 9, n. 1, p. 10, 2013.
- NETO, E. M. de F. L.; PERONI, N.; ALBUQUERQUE, U. P. de. Traditional Knowledge and Management of Umbu (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae): An Endemic Species from the Semi-Arid Region of Northeastern Brazil. *Economic Botany*, v. 64, n. 1, p. 11-21, 2010.
- NETO, J. F. B.; LACERDA, J. S. de; PEREIRA, W. E.; ALBUQUERQUE, R.; COSTA, A. de P. M.; SANTOS, D. P. dos. Emergência de plântulas e características morfológicas de sementes e plantas de umbuzeiro. *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 224-230, 2009.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; FERREIRA, E. V. de O.; PEREIRA, N. V. Growth, mineral nutrition and foliar critical level of K in umbuzeiro seedlings, in function of the potassium fertilization. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 3, p. 636-642, 2007a.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; FERREIRA, E. V. de O.; PEREIRA, N. V.; NEVES, V. B. F. Efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de umbuzeiro. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)*, v. 2, n. 3, p. 200-207, 2007b.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; OLIVEIRA, E. V. de; NEVES, V. B. F. Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de P em mudas de umbuzeiro, em função da adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 3, p. 801-805, 2008a.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; FERREIRA, E. V. de O.; ASSIS, R. P. Nutrição mineral, crescimento e níveis críticos foliares de cálcio e magnésio em mudas de umbuzeiro, em função da calagem. *Revista Ceres*, v. 55, n. 6, p. 575-583, 2008b.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de. *Tecnologia da produção do umbuzeiro (Spondias tuberosa Arr. Cam.)*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; RODRIGUES, C. R. Growth and mineral nutrition of umbuzeiro seedlings (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) under salt stress in nutriente solution. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.

- OLIVEIRA, V. R. de; Resende, M. D. V. de; Nascimento, C. E. de S.; Drumond, M. A.; Santos, C. A. F. Genetic variability of provenances and progenies of umbu tree by mixed linear model methodology (REML/BLUP). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 1, p. 53-56, 2004.
- PEDROSA, A. C.; Lederman, I. E.; Bezerra, J. E. F.; Dantas, A. P.; Gonzaga Neto, L. Métodos de enxertia do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam) em viveiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 13, n. 1, p. 59-62, 1991.
- PESSOA, C.; Costa-Lotufo L. V.; Leyva A.; de Moraes M. E. A.; de Moraes M. O. Anticancer potential of Northeast Brazilian plants. In: KHAN, M. T. H.; ATHER, A. (Eds). *Advances in Phytomedicine. Lead Molecules from Natural Products Discovery and New Trends*. [s.l.] Elsevier, 2006. v. Volume 2. p. 197-211.
- PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 80, n. 4, p. 902-927, 1993.
- REIS, R. V. dos; Fonseca, N.; Ledo, C. A. S.; Gonçalves, L. S. A.; Partelli, F. L.; Silva, M. G. M.; Santos, E. A. Developmental stages of umbu fruit seedlings propagated by grafting. *Ciência Rural*, v. 40, n. 4, p. 787-792, 2010.
- RESENDE, G. M. de; CAVALCANTI, N. de B.; DRUMOND, M. A. Consumo de frutos do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) pelos caprinos na caatinga. *Agrossilvicultura*, v. 1, n. 2, p. 203-210, 2004.
- SANTOS, C. A. F. Dispersão da variabilidade fenotípica do umbuzeiro no semi-árido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 9, p. 923-930, 1997.
- SANTOS, C. A. F. In situ evaluation of fruit yield and estimation of repeatability coefficient for major fruit traits of umbu tree [*Spondias tuberosa* (Anacardiaceae)] in the semi-arid region of Brazil. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 46, n. 5, p. 455-460, 1999.
- SANTOS, C. A. F.; Oliveira, V. R. de; Rodrigues, M. A.; Ribeiro, H. L. C.; DRUMOND, M. A. Estimativas de polinização cruzada em população de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) usando marcador AFLP. *Revista Árvore*, v. 35, n. 3, p. 691-697, 2011a.
- SANTOS, C. A. F.; GAMA, R. N. C. de S. Una estimación AFLP de latasa de fecundación cruzada de *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae), una especie endémica de la región semiárida de Brasil. *Revista de Biología Tropical*, v. 61, n. 2, p. 577-582, 2013.
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S. Relação entre caracteres quantitativos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* A. Camara). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 4, p. 449-456, 1998.
- SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de. Genetic inter-relationships among species of genus *Spondias* based on AFLP markers. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 3, p. 731-735, 2008.
- SANTOS, C. A. F.; RODRIGUES, M. A.; ZUCCHI, M. I. Genetic variability of umbu trees in Brazilian Semi-Arid region, based on AFLP markers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 8, p. 1037-1043, 2008.
- SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; Almeida-Cortez, J. S.; Fernandes, G. W.; Tabarelli, M. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. *Tropical Conservation Science*, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011b.
- SEEMANN, J. R.; CRITCHLEY, C. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*, v. 164, n. 2, p. 151-162, 1985.
- SILVA, A.; Morais, S. M.; Marques, M. M. M.; Lima, D. M.; Santos, S. C. C.; Almeida, R. R.; Vieira, I. G. P.; Guedes, M. I. F. Antiviral activities of extracts and phenolic components of two *Spondias* species against dengue virus. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, v. 17, n. 4, p. 406-413, 2011.

- SILVA, E. C. da; Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, F. P. de; Melo, N. F. de; Neto, A. D. de A. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 63, n. 1-3, p. 147-157, 2008a.
- SILVA, E. C. de; Nogueira, R. J. M. C.; Vale, F. H. A.; Araújo, F. P. de; Pimenta, M. A. Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 21, n. 1, p. 33-42, 2009a.
- SILVA, E. C. de; Nogueira, R. J. M. C.; Vale, F. H. A.; Melo, N. F. de; Araújo, F. P. de. Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*) genotypes under intermittent drought. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 21, n. 1, p. 43-53, 2009b.
- SILVA, I. M. M. S. e; Marangon, L. C.; Hanazaki, N.; Albuquerque, U. P. Use and knowledge of fuelwood in three rural caatinga (dryland) communities in NE Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, v. 11, n. 4, p. 833-851, 2009c.
- SILVA JUNIOR, J. F. da; Bezerra, J. E. F.; Lederman, I. E.; Alves, M. A.; Neto, M. L. de M. Collecting, ex situ conservation and characterization of "cajá-umbu" (*Spondias mombin* × *Spondias tuberosa*) germplasm in Pernambuco State, Brazil. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 51, n. 4, p. 343-349, 2004.
- SILVA, N. M. D. O. E.; Cardoso, J. D. S.; Delabie, J. H. C.; Silva, J. G. Fruit flies (Diptera: Tephritidae) associated with umbu (*Spondias tuberosa*) in the semiarid region of Bahia, Brazil. *Florida Entomologist*, v. 91, n. 4, p. 709-710, 2008b.
- SOUZA, A. A. de; Bruno, R. de L. A.; Lopes, K. P.; Cardoso G. D.; Pereira, W. E.; Cazé Filho, J. Seeds of *Spondias tuberosa* originated from fruits harvested at four maturation stages and stored. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 372-378, 2005.
- TAVARES, S. C. C. de H.; Nascimento, A. R. P.; Nascimento, C. E. de S.; KarasaVa, M. Evidencia de Colletotrichum gloeosporioides como patogeno de umbuzeiros (*Spondias tuberosa*) no Brasil. *Summa Phytopathologica*, v. 24, n. 1, p. 51-52, 1998.
- VIDIGAL, M. C. T. R.; Minim V. P. R., Carvalho, N. B.; Milagres, M. P.; Gonçalves, A. C. A. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açai (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). *Food Research International*, v. 44, n. 7, p. 1988-1996, 2011.
- WANG, M. L.; Raymer, P.; Chinnan, M.; Pittman, R. N. Screening of the USDA peanut germplasm for oil content and fatty acid composition. *Biomass and Bioenergy, Biorefinery*. v. 39, p. 336-343, 2012.
- WERE, B. A.; Onkware, A. O.; Gudu, S.; Welander, M.; Carlsson, A. S. Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. *Field Crops Research*, v. 97, n. 2-3, p. 254-260, 2006.

CONHECIMENTO ECOLÓGICO LOCAL SOBRE ANFÍBIOS ANUROS POR AGRICULTORES EM SISTEMAS AGRÍCOLAS DE REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA

LOCAL ECOLOGICAL KNOWLEDGE ABOUT AMPHIBIANS BY
FARMERS IN AGRICULTURAL SYSTEMS OF BRAZILIAN SEMIARID REGION

Iaponira Sales de Oliveira

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Associação em Rede, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal (RN), Brasil.

Eliza Maria Xavier Freire

Orientadora, docente no Departamento de Botânica e Zoologia (DBEZ) e no Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Associação em Rede, na UFRN – Natal (RN), Brasil.

Endereço para correspondência:

Iaponira Sales de Oliveira –
Rua Praia da Baía Formosa, 9.219 –
Ponta Negra – Natal (RN), Brasil.
E-mail: iapobio@yahoo.com.br

RESUMO

Os anfíbios anuros são considerados bioindicadores de qualidade ambiental e biocontroladores de populações de insetos, inclusive de pragas agrícolas. Daí a relevância de avaliar o conhecimento de comunidades de áreas agrícolas acerca desses animais e a importância deles para o ambiente em que vivem, já que tais animais são, culturalmente, vistos como repugnantes — essa abordagem é uma das vertentes da etnociência. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho foi avaliar o conhecimento local de comunidades agrícolas do semiárido ao longo do médio Rio São Francisco, estado de Pernambuco, sobre as espécies de anfíbios anuros e a importância destas como controladoras de insetos pragas. Foram realizadas quatro excursões de 15 dias cada, duas por comunidade, entre novembro de 2012 e abril de 2013, quando se efetuaram observações diretas sobre as áreas, entrevistas semiestruturadas e identificação dos sítios de reprodução dos anfíbios ao longo dos sistemas agrícolas. A amostragem foi não aleatória intencional, resultando em 347 participantes. Foram citadas pelos agricultores oito etnoespécies, correspondentes a 13 de anfíbios anuros, além de identificados locais de reprodução e desenvolvimento dessas espécies. Foi constatada importância biológica dos anuros para práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: agroecossistemas; conhecimento local; entomologia; biocontrole de pragas.

ABSTRACT

The frogs are considered bio-indicators of environmental quality and biocontrol of insect populations, including agricultural pests. Hence the importance of assessing the knowledge of agricultural zones communities about these animals and the importance of them to the environment in which they live, as they are culturally considered repugnant. This approach is one of the aspects of cognitive anthropology. In this perspective, the objective of this study was to evaluate the site knowledge of semi-arid farming communities along the middle São Francisco River, Pernambuco state, on the species of anurans and their importance the pest insect controllers. Four 15-day-excursions were held, two for community, between November and April 2012/2013 when direct observations were effected over the zones, as well as semi-structured interviews and geo-referencing of sites of reproduction of amphibians throughout the agricultural systems. The sampling was nor random neither intentional, resulting in 347 participants. Eight ethnospecies were cited by farmers, corresponding to 13 species of frogs, as well as the identification of local breeding and development of these species. Biological importance of anurans was for sustainable agricultural practices.

Keywords: agroecosystems; local knowledge; entomology; pest-biocontrol.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro, que inclui o domínio morfoclimático da caatinga (AB'SÁBER, 2003), tem sido utilizado para diversos fins econômicos, tais como pecuária, agricultura e extração de minérios, atividades que vêm causando degradações por vezes irreversíveis (ABÍLIO, 2010). Para cada uma dessas atividades, foram necessárias adaptações específicas por parte das comunidades locais, uma vez que essa região se caracteriza por condições edafoclimáticas específicas, as quais tornam tal ambiente muito frágil e de alta susceptibilidade aos processos erosivos, sendo imprescindíveis alternativas de uso e manejo (AGUIAR *et al.*, 2006). Por se tratar de um ecossistema restrito ao território nacional, a preocupação é ainda maior.

Nesse contexto, o semiárido brasileiro, e de maneira particular a caatinga, abriga uma rica biodiversidade constituída até recentemente por 932 espécies de plantas vasculares (380 endêmicas) (SILVA *et al.*, 2003), 187 de abelhas, 240 de peixes, 175 de répteis e anfíbios (12% endêmicas), e 510 espécies de aves (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Embora o conhecimento acerca da biodiversidade da caatinga seja relevante, ainda é restrito a algumas áreas que, em sua maioria, não são protegidas (RODRIGUES, 2013; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), além de compor uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, com cerca de 50 milhões de habitantes vivendo em condições muito precárias e, conseqüentemente, explorando os recursos naturais de forma inadequada (FREIRE *et al.*, 2009, p. 86; ABÍLIO, 2010). Assim, é preciso ampliar os estudos que abordam o conhecimento das comunidades locais e suas interações com os recursos da caatinga, de forma a contribuir para a sua conservação. Os campos de estudo que se destacam nesse sentido são a etnobiologia e a etnoconservação (MARQUES, 1995; ALBUQUERQUE, 2006).

O uso popular dos recursos naturais é uma prática que acompanha o ser humano desde os primórdios da civilização, sendo fundamentado no acúmulo de informações repassadas oralmente ou de forma gestual a cada geração (ALVES *et al.*, 2009; 2009; ALVES; ALBUQUERQUE, 2012; LEO NETO *et al.*, 2011; 2012; SILVA; FREIRE, 2010). Segundo Mourão e Nordi (2006), os estudos que se referem ao conhecimento ecológico tradicional e/ou local abordam, de modo geral, a maneira como as pessoas usam os recursos naturais e se apropriam deles, por intermédio do manejo, das crenças, dos conheci-

mentos, das percepções e dos comportamentos, além das várias formas de classificar, nomear e identificar as plantas e os animais do seu ambiente.

No âmbito da etnobiologia, a etno-herpetologia compreende grupos biológicos específicos, buscando registrar e avaliar o conhecimento, a classificação, a utilização e a convivência de comunidades locais com os anfíbios e répteis. Para a etno-herpetologia tem sido um grande desafio compreender essa relação, já que os répteis são considerados um grupo perigoso e, por conseguinte, perseguidos (ALVES & RAMOS, 2007). No caso das serpentes, mesmo as espécies não peçonhentas são com frequência espancadas ou mortas quando encontradas (ALVES & RAMOS, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), fato que dificulta as estratégias de manejo aplicadas para outros grupos, como as aves e os mamíferos, por exemplo.

No tocante aos anfíbios, são poucos os registros sobre a relação que as comunidades ocidentais estabelecem com esses animais, apesar de para algumas populações orientais eles servirem como amuletos em rituais religiosos (CERÍACO, 2010). Muitas civilizações antigas veneravam os sapos por associá-los à água e a seu processo de transição para a terra, o que tornava os referidos animais símbolo de fertilidade e de renascimento. Para os egípcios, além do grande respeito, os sapos eram tidos como futuros bebês, e a criação do homem e dos deuses era atribuída à deusa Heket, personificada por uma mulher com cabeça de sapo (BLAUSTEIN; WAKE, 1995). Já os chineses e indianos acreditavam que o mundo se apoiava nas costas de um sapo gigante e que os terremotos ocorriam por conta da movimentação desse sapo. Outra crença era de que os eclipses aconteciam porque um sapo engolia a lua. Na China, as rãs protagonizam muitas lendas e sempre foram tema obrigatório na pintura e nas artes cerâmicas, estilizadas em vasos, potes e peças entalhadas (BLAUSTEIN; WAKE, 1995; IZECKSOHN; CARVALHO-E-SILVA, 2002; CERÍACO, 2010). Na América Central, a civilização maia pensava no coaxar das rãs como uma manifestação do deus Chac para anunciar a chuva, que fazia brotar o verde nas planícies secas. Por meio dessa associação com a água, as rãs eram vinculadas não somente com o crescimento das plantas, mas também com a fertilidade e com o nascimento (DUELLMAN; TRUEB, 1994; CERÍACO, 2010). Por sua vez, os girinos e as rãs adultas

faziam parte da decoração de potes, roupas e ornamentos. Por fim, os índios brasileiros consideravam os anfíbios como guardiões das águas (BLAUSTEIN; WAKE, 1995; CERÍACO, 2010).

No entanto na Idade Média na Europa, esses animais eram associados a manifestações do mal e a bruxarias (CERÍACO, 2010). A sociedade moderna herdou esse preconceito dos europeus medievais, e, por isso, não é dada a devida atenção aos anfíbios, que, segundo Vitt e Caldwell (2009), por exemplo, constituem elementos-chave para a avaliação da qualidade ambiental e biocontroladores de insetos vetores de doenças e/ou pragas agrícolas. Portanto, os anfíbios anuros, que compreendem os sapos e seus parentes, consistem em animais importantíssimos nas cadeias e teias ecológicas, especialmente por serem biocontroladores de populações de insetos e outros vertebrados, atuando como presas e predadores (STUART, 2008; VITT & CALDWELL, 2009; ABROL, 2012; VALENCIA-AGUILAR *et al.*, 2013).

Apesar da reconhecida importância dos anfíbios anuros, nas últimas décadas têm ocorrido a redução e o desaparecimento de espécies em todo o mundo (HOFFMANN *et al.*, 2010; KATZENBERGER *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2012). Como esses animais são sensíveis a mudanças ambientais, sua diminuição pode ser de-

corrente da ação antrópica e/ou das alterações climáticas atuais (STEBBINS & COHEN, 1995; STUART, 2008; COSTA *et al.*, 2012).

Nessa ótica, alguns questionamentos nortearam este trabalho, efetuado em sistemas agrícolas localizados no semiárido brasileiro e cujo controle de pragas agrícolas é feito atualmente por meio do uso de agroquímicos. As perguntas foram: qual o conhecimento ecológico dos agricultores locais acerca dos anfíbios anuros? Qual a relevância desse conhecimento para subsidiar a proposta de utilização dos anfíbios anuros no biocontrole de insetos pragas e, conseqüentemente, na conservação das espécies, na preservação da saúde humana e na sustentabilidade desses sistemas agrícolas? Na perspectiva de responder a esses e outros desafios postos, os objetivos deste trabalho foram identificar e avaliar o conhecimento das comunidades agrícolas de região semiárida, especificamente dos municípios de Itacuruba e Petrolândia, estado de Pernambuco, Brasil, sobre as espécies de anfíbios anuros e seus respectivos modos de vida, além de, com base em tais respostas, propor o uso de anfíbios anuros no biocontrole de insetos pragas para minimizar o emprego dos agroquímicos e os riscos ambientais e promover a conservação das espécies e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delimitação e caracterização da área de estudo

Esta pesquisa é parte do Projeto Innovate (*Interplay between the multiple use of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystems*), que envolve instituições brasileiras e alemãs de ensino e pesquisa com os objetivos de estudar e propor estratégias para a otimização dos múltiplos usos dos reservatórios construídos pela intervenção humana, por meio do aumento paralelo da produtividade, da redução da emissão de gases de efeito estufa e da manutenção da biodiversidade. O projeto está estruturado em cinco módulos interligados, cujas finalidades são conhecer e fornecer informações que comporão um banco de dados que possa gerar modelos preditivos para regiões semiáridas. Nessa perspectiva, foram estudadas duas comunidades agrícolas nos municípios de Itacuruba (08°43'38"S e 38°41'00"W) e Petrolândia

(08°58'45"S e 38°13'10"W), no estado de Pernambuco, ambas ao longo do submédio Rio São Francisco.

A cidade de Itacuruba está localizada na microrregião de Itaparica e tem como característica marcante a falta de recursos naturais (especialmente solos) para a prática de atividades agrícolas. Está incluída no Núcleo de Desertificação do Cabrobó da Organização das Nações Unidas (ONU), uma área muito vulnerável à degradação (BEUSCH *et al.*, 2014). Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, sua população à época era de 4.639 habitantes e suas principais atividades são a pecuária e a agricultura, apesar de as famílias não serem beneficiadas com programas de irrigação.

As comunidades agrícolas de Itacuruba estão organizadas em três assentamentos concebidos pelo Instituto

Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incrá), que possibilitou o reassentamento dessas comunidades para tal região de maneira justa e sistematizada, mantendo-as no cadastro nacional de imóveis rurais, além de identificar, registrar, demarcar e titular terras destinadas a comunidades tradicionais quilombolas ali existentes. Foram encontradas 198 famílias que desenvolvem agricultura de subsistência em Itacuruba; outros agricultores realizam suas atividades em propriedades de grandes fazendeiros da região, em troca de salários e/ou moradia. É notória a diferença dessa comunidade, por não apresentar recursos para o desenvolvimento de agricultura em larga escala e pela falta de um sistema de irrigação como nas comunidades rurais de Petrolândia.

O perímetro irrigado do município de Petrolândia, também situado na região do submédio Rio São Fran-

Procedimentos metodológicos

Nas duas comunidades averiguadas, durante estudo piloto, foram realizadas visitas às residências habitadas para esclarecimentos sobre esta investigação. Em seguida, foi solicitado aos que concordaram em participar da pesquisa que assinassem o termo de consentimento livre e esclarecido, exigido pelo Conselho Nacional de Saúde por meio do Comitê de Ética em Pesquisa no Brasil (Resolução n.º 196/96). Além disso, este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) (Parecer n.º 466/2012).

O trabalho de campo ocorreu em quatro excursões, duas a cada um dos municípios analisados, entre os meses de novembro de 2012 e abril de 2013. A primeira visita às duas comunidades rurais deu-se em novembro de 2012, possibilitou a observação participante, conforme Combessie (2004), e consistiu na exploração da realidade local e no estabelecimento da pesquisa, propiciando conhecer as comunidades em foco e identificar as áreas de estudo.

Quanto à escolha dos entrevistados, a amostragem foi aleatória intencional (ALMEIDA & ALBUQUERQUE, 2002), por intermédio da qual os indivíduos das comunidades foram abordados em seus locais de trabalho (lavoura) sobre a disponibilidade de participar da pesquisa, de acordo com o sugerido por Caló *et al.* (2009). Definiu-se o universo amostral de ambas as áreas pela amostragem probabilística, a qual institui que todos os

cisco, faz parte do Sistema Itaparica de projetos de irrigação, construído pelo governo federal por meio da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), para compensar as famílias deslocadas pela construção da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga (Usina de Itaparica) no fim da década de 1980. Com a construção da usina hidrelétrica de Itaparica, 834 km² de terras foram inundadas, implicando o deslocamento de 5.542 pessoas somente à margem esquerda do Rio São Francisco. Em março de 1986 a Chesf iniciou um estudo de viabilidade para o reassentamento das famílias atingidas pela inundação do lago.

A comunidade local de Petrolândia compreende 618 famílias cadastradas em 16 agrovilas na zona rural do município, as quais desenvolvem agricultura com sistema irrigado.

elementos possuem a mesma probabilidade de serem escolhidos (SAMPLERI *et al.*, 2006), considerando o intervalo de confiança de 5% e erro amostral de 0,1% (LEVIN, 1987). Assim, do número de famílias envolvidas em atividades agrícolas nas comunidades estudadas (198 em Itacuruba e 618 em Petrolândia), foram entrevistados 238 agricultores de Petrolândia e 131 de Itacuruba, com idades entre 18 e 65 anos, todos do sexo masculino. Após a definição dessa amostragem, as entrevistas aconteceram.

Foram aplicadas entrevistas semiestruturadas, em conformidade com Viertler (2002), para a obtenção de dados a respeito da existência de espécies de anfíbios anuros nas áreas agrícolas e do conhecimento das comunidades locais acerca dos anfíbios conhecidos e seus respectivos modos de vida, incluindo os mais citados e observados pela comunidade agrícola. Para a análise desses dados foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (H), que é um teste não paramétrico para análises de correlação simples.

A identificação das espécies de anfíbios anuros ocorrentes nas áreas agrícolas de Petrolândia e Itacuruba foi inicialmente feita mediante estímulos visuais, com o auxílio de fotografias de espécies comuns em áreas de caatinga, à semelhança do método utilizado por García (2006), Monteiro *et al.* (2006), Souto (2008) e Maciel e Alves (2009). O referido método serviu para nortear os entrevistados contextualmente, assegu-

rando que as entrevistas fossem direcionadas ao mesmo objeto (espécies de anfíbios anuros), a fim de coletar dados etnobiológicos precisos (GARCÍA, 2006). As informações coletadas ajudaram na construção de tabelas de cognição comparada para correlacionar as respostas dos entrevistados com as informações da literatura, sobretudo referentes à biologia dos anfíbios anuros. Posteriormente, as espécies de anfíbios citadas nas entrevistas foram coletadas pela busca ativa ao longo das áreas agrícolas e na caatinga circunvizinha, para identificação por especialista e por meio de bibliografia pertinente. Elas se encontram depositadas na Coleção Herpetológica da UFRN e na *Senckenberg Natural History Collections* em Dresden, na Alemanha.

Para caracterizar os locais de reprodução e desenvolvimento dos anfíbios anuros nas áreas agrícolas, foram elaborados mapas orais com o intuito de verificar a percepção dos agricultores sobre o espaço no qual vivem e que utilizam como fonte de subsistência (CALAMIA, 1999; CROWDER & NORSE, 2008; GERHARDINGER *et al.*, 2009). Produziram-se esses mapas com base em turnês guiadas (SPRADLEY & MCCURDY, 1972) com os agricultores, que mencionaram a existência de sítios reprodutivos em suas áreas de cultivo, a fim de nomear e georreferenciar os principais locais em que os anfíbios se reproduzem. As coordenadas foram registradas em campo por meio de *Global Positioning System* (GPS) e de acordo com as informações e orientações dos agricultores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas áreas estudadas foram registradas oito etnoespécies, segundo registros das entrevistas com os agricultores. Tais etnoespécies correspondem a 13 espécies, conforme espécimes coletados em campo e identificados por especialistas (Tabela 1). São conhecidas mundialmente 6.771 espécies de anfíbios (FROST, 2011), das quais 988 de anfíbios anuros são registradas no Brasil (SEGALLA *et al.*, 2014) e 103 (10,4%) no domínio das caatingas (CAMARDELLI & NAPOLI, 2012), riqueza considerada ainda subestimada.

A presença de anfíbios anuros nas áreas agrícolas foi citada por 79% dos agricultores entrevistados em Petrolândia e 65% em Itacuruba. O número maior de citações em Petrolândia provavelmente se deve à maior quantidade de agricultores entrevistados nessa área ($n = 238$), no entanto a informação dos agricultores quanto à ocorrência de até 10 etnoespécies de anfíbios anuros em ambas as áreas analisadas confirma que, apesar do pouco conhecimento por parte dos agricultores sobre a biologia desses animais, os anfíbios anuros são observados e reconhecidos nas áreas agrícolas.

A etnoespécie mais comumente mencionada foi o sapo-cururu (42% em Petrolândia e 53% em Itacuruba), que corresponde às espécies do gênero *Rhinella* encontradas nas áreas agrícolas e urbanas (Figura 1). Duas espécies equivalem ao que os agricultores locais denominam de sapo-cururu: *Rhinella jimi* (Stevaux, 2002) e *Rhinella granulosa* (Spix, 1824). A primeira, conhecida na região do semiárido como sapo-cururu

ou sapo-boi, possui ampla distribuição no Nordeste do Brasil, principalmente na caatinga, ocupando áreas próximas a habitações humanas, lagoas, margens de riachos, estradas e rodovias (BORGES-NOJOSA & SANTOS, 2005). *R. granulosa*, por sua vez, é encontrada ao longo do Nordeste do Brasil e nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, sobretudo em ambientes abertos e secos, sendo assim conspicuo da caatinga (NARVAES & RODRIGUES, 2009). Os agricultores das comunidades estudadas classificaram esses animais e descreveram aspectos de seus modos de vida e comportamentos, conforme conteúdo da Tabela 2, que inclui comparações com informações da literatura.

Os relatos dos agricultores locais de Petrolândia (37%) e Itacuruba (48%) sobre o sapo-cururu demonstram algum conhecimento a respeito dos modos de vida do referido animal, como a questão de ele contribuir para o controle de populações de insetos, pois afirmaram que os cururus são responsáveis pela “limpeza do ambiente agrícola”.

No entanto é necessária atenção especial a experiências para controle de insetos por espécies exóticas de anfíbios. Segundo Turvey (2013), uma espécie de sapo-cururu (*Rhinella marina*) foi introduzida na Austrália em uma área agrícola, a fim de combater o besouro-dacana (*Dermolepida albohirtum*) e proteger as culturas de cana-de-açúcar. Como a maioria das introduções de espécies não nativas apresenta controle ineficaz, o sapo-cururu agora é uma grande praga na Austrália. Isso

Tabela 1 – Etnoespécies citadas por agricultores locais e respectivas espécies de anfíbios identificadas na região de Petrolândia e Itacuruba (PE), Nordeste do Brasil.

Etnoespécie	Município	Petrolândia	Itacuruba
	Nome científico	Área de intensa atividade agrícola	Área de intensa atividade agrícola
Jia	<i>Dermatonotus muelleri</i> (Boettger, 1885)	X	
Rã-de-bananeira	<i>Hypsiboas raniceps</i> (Cope, 1862)	X	X
Caçote	<i>Leptodactylus fuscus</i> (Schneider, 1799)	X	X
Caçote	<i>Leptodactylus macrosternum</i> (Miranda-Ribeiro, 1926)	X	X
Caçote	<i>Leptodactylus troglodytes</i> (A. Lutz, 1926)	X	
Caçote	<i>Leptodactylus vastus</i> (A. Lutz, 1930)	X	
Rãzinha	<i>Physalaemus kroyeri</i> (Reinhardt & Lütken, 1862 “1861”)		X
Rãzinha	<i>Pseudopaludicola pocoto</i> (Magalhães, Loebmann, Kokubum, Haddad & Garda, 2014)	X	X
Rãzinha	<i>Physalaemus cicada</i> (Bokermann, 1966)	X	
Cumbá	<i>Pleurodema diplolister</i> (Peters, 1870)	X	
Sapo-cururu pequeno	<i>Rhinella granulosa</i> (Spix, 1824)	X	X
Sapo-cururu grande	<i>Rhinella jimi</i> (Stevaux, 2002)	X	X
Rãzinha-puladeira	<i>Scinax x-signatus</i> (Spix, 1824)	X	X

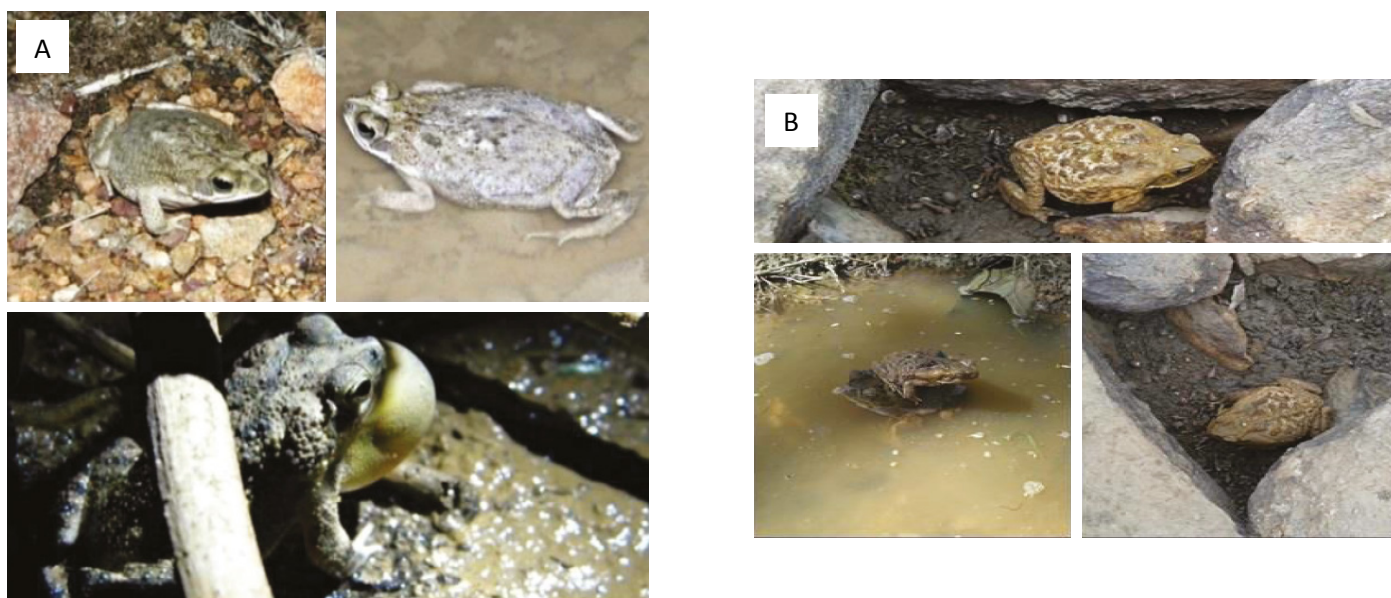


Figura 1 – Espécies de sapo-cururu (gênero *Rhinella*) encontradas na região agrícola de Petrolândia e Itacuruba (PE): (A) *Rhinella granulosa* (Spix, 1824); (B) *Rhinella jimi* (Stevaux, 2002).

Tabela 2 – Cognição comparada entre citações e relatos dos agricultores locais de Petrolândia e Itacuruba (PE) acerca do modo de vida do sapo-cururu, espécies do gênero *Rhinella*, e a literatura científica sobre o tema.

Agricultores de Petrolândia	Agricultores de Itacuruba	Literatura científica
“Sai da toca à noite para caçar” (informante 6)	“À noite ficam nas ramas e onde tem luz procurando cascudos” (informante 5)	São animais de hábito noturno (CASSEMIRO <i>et al.</i> , 2012)
“Tenho nojo, porque é frio e molhado” (informante 8)	“Ele é cheio de rugas e é molhado, dá nojo” (informante 3)	São animais ectotérmicos e também apresentam respiração cutânea, por isso devem manter a pele sempre úmida (NARVAES & RODRIGUES, 2009)
“Se cutucar, ele incha” (informante 40)	“Incha quando tá com raiva” (informante 45)	Como forma de defesa os anuros do gênero <i>Rhinella</i> tendem a inflar os pulmões de ar para amedrontar os predadores (BUCKLEY <i>et al.</i> , 2010)
“Libera um leite que irrita os olhos” (informante 23)	“Libera um leite, que é seu veneno” (informante 58)	O gênero <i>Rhinella</i> apresenta as glândulas granulares, que liberam uma substância de aspecto leitoso, com capacidade de provocar irritabilidade nos predadores (DUELLMAN & TRUEB, 1994; NARVAES E RODRIGUES, 2009)
“Se ele mijar nos olhos, pode cegar” (informante 33)	“Se mijar no olho, cega” (informante 28)	Não existe comprovação de substâncias tóxicas na urina dos anuros que possa provocar cegueira (BUCKLEY <i>et al.</i> , 2010; NARVAES; RODRIGUES, 2009)
“Onde ele faz cama não nasce mais coentro” (informante 12)	“De dia vivem em tocas no meio das ramas, em baixo dos galhos e onde tem água” (informante 9)	Os anfíbios anuros do gênero <i>Rhinella</i> tendem a aumentar de tamanho rapidamente. Outra característica é que esses animais tendem a se entocarem durante o dia em lugares úmidos e sombreados (BUCKLEY <i>et al.</i> , 2010; NARVAES & RODRIGUES, 2009)
“Seu canto atrai chuva” (informante 7)	“Ele canta para chamar a fêmea” (informante 50)	Os anfíbios precisam de água ou de umidade para se reproduzirem, por isso o período chuvoso é o ideal para atrair as fêmeas com o canto e realizar o acasalamento (DUELLMAN & TRUEB, 1994; NARVAES & RODRIGUES, 2009; BUCKLEY <i>et al.</i> , 2010)

aconteceu apesar de a ideia da introdução de *R. marina* ter surgido do conhecimento local de os sapos serem os principais predadores de invertebrados. Apesar de esse fato ter se dado sem as devidas precauções de controle biológico, o papel potencialmente importante dos anfí-

bios como predadores de invertebrados deve ser destacado. Na Argentina, *Rhinella arenarum*, *Leptodactylus latinasus*, *Leptodactylus chaquensis* e *Physalaemus albonotatus* são conhecidos por forragearem artrópodes que habitualmente danificam as culturas de soja (VA-

LÊNCIA-AGUILAR *et al.*, 2013), mas os possíveis benefícios do controle biológico realizado por esses anuros para esses sistemas agrícolas não foram testados.

A segunda etnoespécie mais citada pelos agricultores locais para as regiões de Petrolândia (29%) e Itacuruba (16%), o “caçote”, corresponde às espécies do gênero *Leptodactylus* (Figura 2). Essas espécies são encontradas em margens de riachos e drenos de irrigação da região agrícola de Petrolândia e em caixas-d’água e margens de riachos em Itacuruba.

Apesar da generalização na definição das espécies de *Leptodactylus*, os agricultores entrevistados percebem diferenças entre elas, mas não conseguem distinguir tais espécies a ponto de agrupá-las em grupos desiguais; apenas as identificam e as classificam quanto às variações de tamanho e cor, caracte-

terísticas geralmente relacionadas a fases de desenvolvimento, e não a espécies distintas. A exemplo disso, as “rãzinhas”, que para os agricultores são uma mesma espécie e as diferenças citadas se referem à cor e ao tamanho, correspondem a diferentes espécies das famílias Leiuperidae e Leptodactylidae, tais como *Physalaemus cicada*, *Physalaemus kroyeri* e *Pseudopaludicola* sp.

A generalização na caracterização das espécies é um fato comum constatado em outros estudos referentes à similaridade da composição faunística em diferentes áreas do semiárido, com o mesmo tipo de vegetação e condições climáticas. Quanto à composição de espécies, constatou-se semelhança entre este trabalho e outros realizados na caatinga por Vieira *et al.* (2007) e Caldas *et al.* (2009), especialmente no tocante às espé-

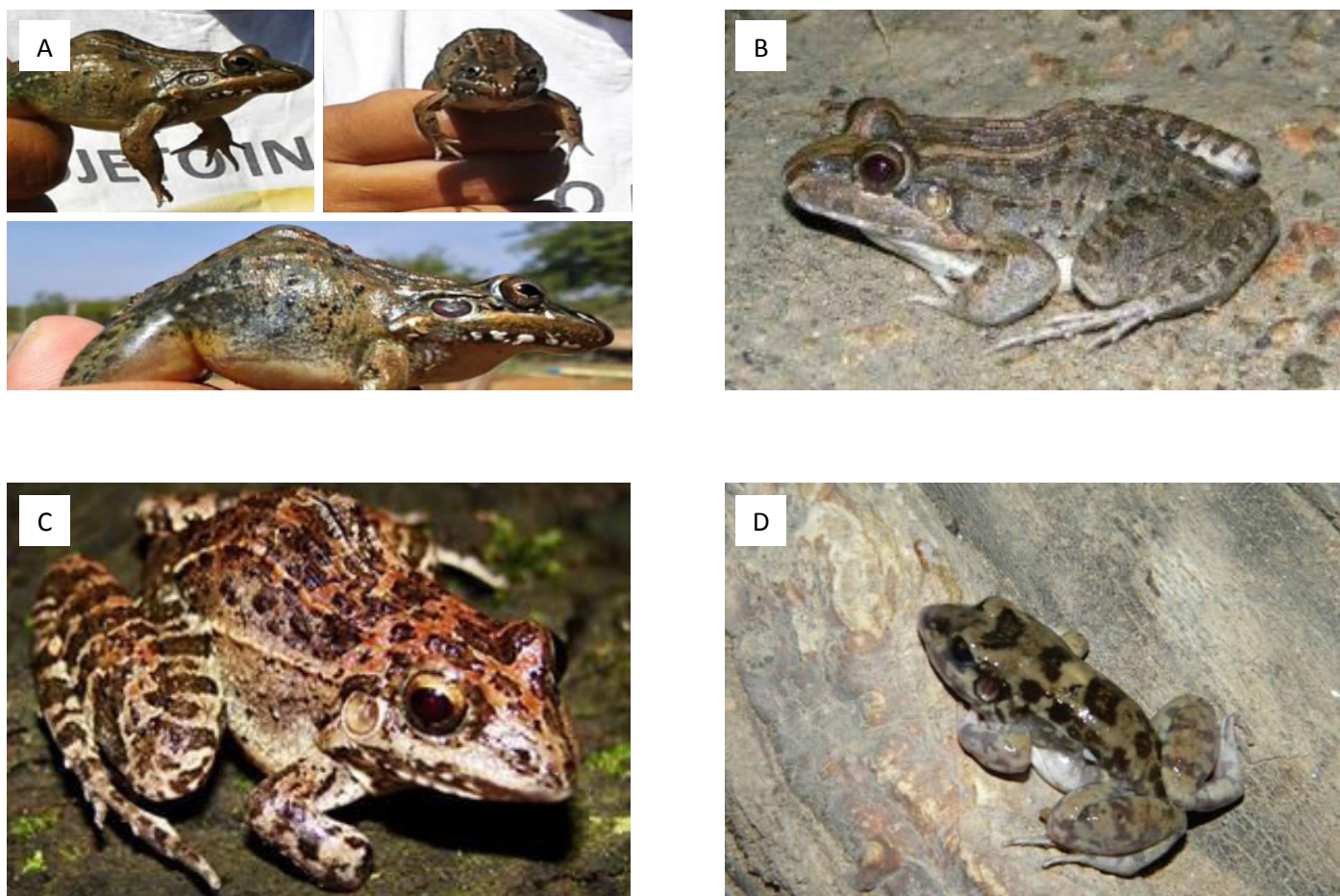


Figura 2 – Espécies de “caçote” (gênero *Leptodactylus*) encontradas nas áreas agrícolas de Petrolândia e Itacuruba (PE), em janeiro e abril de 2013: (A) *Leptodactylus vastus* (A. Lutz, 1930); (B) *Leptodactylus macrosternum* (Miranda-Ribeiro, 1926); (C) *Leptodactylus fuscus* (Schneider, 1799); (D) *Leptodactylus troglodytes* (A. Lutz, 1926).

cies *R. granulosa*, *Hypsiboas raniceps*, *Scinax x-signatus*, *Leptodactylus troglodytes* e *Pleurodema diplolister*.

Os agricultores (89% de Petrolândia e 94% de Itacuruba) relataram e descreveram alguns aspectos relevantes da biologia dessas espécies, tais como hábitos, comportamento, alimentação e desenvolvimento, conforme destacado na Tabela 3.

As informações dos agricultores locais sobre os caçotes, listadas na cognição comparada (Tabela 3), principalmente quanto à dieta e à reprodução, reforçam tais itens como os aspectos mais marcantes observados pelos agricultores e evidenciados nas respostas aos formulários. Esse conhecimento de comunidades locais sobre a natureza e importância dos recursos biológicos, na sua maioria concernen-

Tabela 3 – Cognição comparada entre citações e relatos dos agricultores locais de Petrolândia e Itacuruba (PE) acerca do modo de vida dos caçotes (espécies do gênero *Leptodactylus*) e a literatura científica sobre o tema.

Agricultores locais de Petrolândia	Agricultores locais de Itacuruba	Literatura científica
“Não possuem veneno, porque sua pele é lisa sem verruga” (informante 9)	“Pele fria e molhada” (informante 16)	As espécies de <i>Leptodactylus</i> apresentam a pele úmida para evitar ressecamento e auxiliar na respiração (GIARETTA & KOKUBUM, 2004)
“Não tem diferença, todos são caçotes. Uns pequenos, outros grandes” (informante 15)	“O caçote é marrom quando pequeno e escuro quando tá grande” (informante 33)	Essas espécies podem atingir de 5 a 12cm de comprimento. Suas colorações variam do amarelo ao marrom-escuro (FREITAS & SILVA, 2007; HEYER, 1969; GIARETTA & KOKUBUM, 2004)
“Vivem entre o capim-rasteiro” (informante 30)	“Vivem onde tem mato” (informante 12)	Habitam áreas preferentemente abertas e também de matas em todo o Nordeste (FREITAS & SILVA, 2007; HEYER, 1969; GIARETTA E KOKUBUM, 2004)
“Vivem onde tem drenos e poças” (informante 28)	“Vivem onde tem água, lama e caixa-d’água” (informante 11)	Esses animais também habitam locais com água, principalmente no período de reprodução, para oviposição e equilíbrio da temperatura (GIARETTA & KOKUBUM, 2004)
“Quando se reproduzem, formam espuma” (informante 19)	“Fazem espuma para botar os ovos” (informante 8)	Quando o casal faz amplexo, a fêmea libera uma substância albuminoide pela cloaca e o macho bate forte essa substância com suas patas traseiras até formar espuma abundante. Em seguida, a fêmea libera os óvulos, os machos fertilizam-nos, e os ovos ficam envoltos pelo ninho de espuma até a eclosão (GIARETTA & KOKUBUM, 2004) Envolve os ovos que aí são depositados (FREITAS & SILVA, 2007; GIARETTA & KOKUBUM, 2004)
“Fazem a limpeza do ambiente, pois comem insetos” (informante 50)	“Comem os insetos” (informante 38)	Espécies do gênero <i>Leptodactylus</i> têm por característica alimentar-se de artrópodes e pequenos vertebrados como outras rãs, serpentes e até camundongos (FREITAS & SILVA, 2007)
“São brabos” (informante 139)	“Pulam muito e vêm para cima da pessoa” (informante 36)	As espécies do gênero <i>Leptodactylus</i> são predadores muito vorazes (FREITAS & SILVA, 2007)

te à biologia das espécies, coincide com o destaque em trabalhos que englobam os animais caçados por comunidades do sertão nordestino (ALVES *et al.*, 2010) e por pescadores em relação aos recursos pesqueiros de regiões litorâneas (BEGOSSI *et al.*, 1999; MOURÃO & NORDI, 2006).

Outra etnoespécie bastante citada pelos agricultores foi a “rã-de-bananeira”, que corresponde à espécie *Hypsiboas raniceps* (Cope, 1862), a qual ocorre em abundância significativa especialmente nas plantações de banana em Petrolândia (77% das citações) e em árvores frutíferas, como goiabeiras e mangueiras, na região de Itacuruba (28% das afirmações). Ainda conforme relato dos agricultores, seu aparecimento em bananeiras dá-se sob e entre os cachos de bananas e entre as bases das folhas, local geralmente úmido que armazena água da chuva ou da irrigação. Algumas das características mencionadas pelos agricultores sobre a rã-de-bananeira são confirmadas pela literatura, pois sua reprodução acontece na estação chuvosa, quando os indivíduos formam densas agregações em corpos d’água (brejos, poças, veredas). São de reprodução prolongada, isto é, reproduzem-se por várias semanas ou meses, e territoriais. Ou seja, machos defendem suas áreas de vocalização contra intrusos da mesma espécie (LINGNAU *et al.*, 2004; PANSONATO *et al.*, 2011; SUGAI *et al.*, 2014). Durante o dia permanecem imóveis, e sua aparência pálida e pele úmida causam repulsa aos agricultores. No período da noite, segundo Ribeiro-Júnior & Bertoluci (2009), tornam-se mais ativos, e os machos emitem sons para atrair as fêmeas, além de caçar os insetos para alimentação.

Também foi identificada, embora pouco observada pelos agricultores locais, a “rãzinha-puladeira”, *Scinax x-signatus* (Spix, 1824), pertencente à família Hy-

lidae. De acordo com relatos dos agricultores de Itacuruba (72%) e Petrolândia (58%), essa etnoespécie é facilmente encontrada em árvores frutíferas, além de em residências, costumeiramente em potes de cerâmica em que é armazenada água para o consumo humano. Esses relatos coincidem com informações da literatura de que *S. x-signatus* é muito comum próximo às habitações humanas, tem hábito noturno e arborícola (GALATTI *et al.*, 2007). Fora isso, é facilmente adaptável à perturbação humana, ocorrendo em savanas tropicais e bordas de floresta da Venezuela até o Suriname e em boa parte do Brasil (MIGUEL *et al.*, 2010). As comunidades locais de Petrolândia (58%) e Itacuruba (72%) denominam essa espécie de rãzinha-puladeira porque ela emite som por meio da interação entre as patas. Essa afirmação pode estar relacionada ao movimento das patas em direção à região dorsal, pois a manutenção da umidade da superfície externa da pele é fundamental para a difusão dos gases respiratórios, garantida pela secreção de muco produzido pelas glândulas mucosas (HUTCHINSON & SAVITZKY, 2004).

A pele dos anfíbios anuros em geral desempenha uma série de funções vitais, sobressaindo a respiração, o transporte de água e solutos, a regulação da temperatura corpórea e a defesa contra o ataque de microrganismos e predadores (LEITE *et al.*, 2005).

S. x-signatus habita áreas de mata atlântica e caatinga, normalmente alcança comprimento de até 3,5 cm e sua coloração de fundo é parda mostarda com manchas dorsais bem definidas (FREITAS & SILVA, 2007).

Cabe destacar ainda outras etnoespécies de anfíbios anuros que foram menos citadas pelos agricultores locais das áreas averiguadas (Tabela 1), mas que são relevantes no contexto deste estudo em agroecossistemas do semiárido brasileiro.

CONCLUSÃO

Apesar das condições climáticas adversas e das alterações ocorridas na paisagem da região semiárida estudada, ela ainda abriga uma riqueza considerável de anfíbios anuros que é reconhecida e descrita à luz do conhecimento local dos agricultores de agroecossistemas nos municípios de Petrolândia e Itacuruba, ao longo do médio Rio São Francisco, em Pernambuco.

O conhecimento ecológico local sobre as etnoespécies de anfíbios anuros possibilitou identificar relações cognitivas e comportamentais dos agricultores com os recursos naturais, especialmente quanto à importância biológica dos anfíbios anuros. Com base nesses resultados, pôde-se iniciar um processo para a construção de alternativas viáveis ao controle de

pragas agrícolas nessa região, aliando o conhecimento dos agricultores locais ao científico e viabilizando a popularização da ciência por meio da divulgação mediante cartilha escrita em literatura de cordel, típica do Nordeste brasileiro. É possível que esse veículo de popularização da ciência promova o incremento

do conhecimento local a respeito da relevância dos anfíbios anuros e da sua utilização no biocontrole de insetos pragas em substituição paulatina do uso de agroquímicos e consequente diminuição dos riscos ambientais, para a conservação das espécies e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P. (Org.). *Bioma caatinga: ecologia, biodiversidade, educação ambiental e práticas pedagógicas*. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2010. 196 p.
- ABROL, D. P. *Pollination biology: biodiversity conservation and agricultural production*. Nova York: Springer, 2012.
- AB'SÁBER, A. N. Os domínios da natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 270-278, 2006.
- ALBUQUERQUE, U. P. de. Re-examining hypotheses concerning the use and knowledge of medicinal plants: a study in the Caatinga vegetation of NE Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 2, n. 30, 2006. DOI: 10.1186/1746-4269-2-30.
- ALBUQUERQUE, U. P. de; ARAÚJO, E. L.; EL-DEIR, A. C. A.; LIMA, A. L. A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B. M.; FERRAZ, E. M. N.; FREIRE, E. M. X.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LAS-CASAS, F. M. G.; MOURA, G. J. B.; PEREIRA, G. A.; MELO, J. G.; RAMOS, M. A.; RODAL, M. J. N.; SCHIEL, N.; LYRA-NEVES, R. M.; ALVES, R. R. N.; AZEVEDO-JÚNIOR, S. M.; TELINO JÚNIOR, W. R.; SEVERI, W. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. *The Scientific World Journal*, 2012. DOI: 10.1100/2012/205182.
- ALMEIDA, C. F. C. B. & ALBUQUERQUE, U. P. Uso e conservação de plantas e animais medicinais no estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil): um estudo de caso. *Interciência*, v. 27, n. 6, p. 276-285, 2002.
- ALVES, G. P. F. & RAMOS, R. da N. Commercialization and use of snakes in North and Northeastern Brazil: implications for conservation and management. *Biodiversity and Conservation*, v. 16, n. 4, p. 969-985, 2007. DOI: 10.1007/s10531-006-9036-7.
- ALVES, R.; SOUTO, W.; BARBOZA, R. R. Primates in traditional folk medicine: a world overview. *Mammal Review*, v. 40, n. 2, p. 155-180, abr. 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2010.00158.x.
- ALVES, R. R. N. & ALBUQUERQUE, U. P. Ethnobiology and conservation: why do we need a new journal? *Ethnobiology and Conservation*, v. 1, 2012.
- ALVES, R. R. N.; LÉO NETO, N. A.; SANTANA, G. G.; VIEIRA, W. L. S.; ALMEIDA, W. O. Reptiles used for medicinal and magic religious purposes in Brazil. *Applied Herpetology*, v. 6, p. 257-274, 2009.
- BEGOSSI, A.; SILVANO, R. A. M.; AMARAL, B. D.; OYAKAWA, O. T. Uses of fish and game by inhabitants of an extractive reserve (Upper Juruá, Acre, Brazil). *Environment, Development and Sustainability*, v. 1, n. 1, p. 73-93, mar. 1999. DOI: 10.1023/A:1010075315060.
- BEUSCH, C.; MERTENS, J.; ARAÚJO FILHO, J. C.; GERMER, J.; KAUPENJOHANN, M. Suitability of biochar and clay as soil amendments for an Arenosol. Round Table 2: Sustainable management of terrestrial resources: land and biodiversity. In: INNOVATE STATUS CONFERENCE, 2014; SEMINÁRIO INTERNACIONAL BRASIL – ALEMANHA: USO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA E DO SOLO DE RESERVATÓRIOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS, 3., 2014. *Anais...*, Recife, 2014.

BLAUSTEIN, A. R. & WAKE, D. B. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American*, v. 272, n. 1, p. 56-61, abr. 1995.

BORGES-NOJOSA, D. & SANTOS, E. M. Herpetofauna da área de Betânia e Floresta, Pernambuco. In: ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. (Orgs.). *Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2005. p. 276-289.

BUCKLEY, L. B.; URBAN, M. C.; ANGILLETTA, M. J.; CROZIER, L. G.; RISSLER, L. J.; SEARS, M. W. Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology letters*, v. 13, n. 8, p. 1.041-1.054, ago. 2010. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2010.01479.

CALAMIA, M. A. A methodology for incorporating traditional ecological knowledge with geographic information systems for marine resource management in the Pacific. *Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin*, n. 10, p. 2-12, 1999.

CALDAS, F. L. S.; SANTANA, D. O.; CARVALHO, C. B.; FARIA, R. G.; SANTOS, R. A. Levantamento preliminar de anurofauna em uma área de caatinga no alto sertão sergipano. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., São Lourenço, 13-17 set. 2009. *Anais...*, São Lourenço, 2009. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/2009/resumos_ixceb/1351.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2015.

CALÓ, C. F. F.; SCHIAVETTI, A.; CETRA, M. Local ecological and taxonomic knowledge of snapper fish (*Teleostei: Actinopterygii*) held by fishermen in Ilhéus, Bahia, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, set. 2009. DOI: 10.1590/S1679-62252009000300007.

CAMARDELLI, M. & NAPOLI, M. F. Amphibian conservation in the caatinga biome and semiarid region of Brazil. *Herpetologica*, v. 68, n. 1, p. 31-47, 2012. DOI: 10.1655/HERPETOLOGICA-D-10-00033.1

CASSEMIRO, F. A. S.; GOUVEIA, S. F.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Distribuição de *Rhinella granulosa*: integrando envelopes bioclimáticos e respostas ecofisiológicas. *Revista da Biologia*, São Paulo, Especial Mudanças Ambientais, v. 8, p. 38-44, 2012.

CERÍACO, L. M. P. *Human attitudes towards herpetofauna how preferences, fear and beliefs can influence the conservation of reptiles and amphibian*. Dissertação (Mestrado em Biologia da Conservação)—Universidade de Évora, Évora, 2010. 164 p.

COMBESSIE, J. C. *O método em sociologia: o que é, como se faz*. São Paulo: Loyola, 2004.

COSTA, T. R. N.; CARNAVAL, A. C. O. Q.; TOLEDO, L. F. Mudanças climáticas e seus impactos sobre os anfíbios brasileiros. *Revista da Biologia*, São Paulo, v. 8, p. 33-37, 2012.

CROWDER, L. & NORSE, E. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. *Marine Policy*, v. 32, n. 5, p. 772-778, set. 2008. DOI: 10.1016/j.marpol.2008.03.012.

DUELLMAN, W. E. & TRUEB, L. *Biology of amphibians*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994.

FREIRE, E. M. X.; SUGLIANO, G. O. S.; KOLODIUK, M. F.; RIBEIRO, L. B.; MAGGI, B. S.; RODRIGUES, L. S.; VIEIRA, W. L. S.; FALCÃO, A. C. G. P. Répteis *squamata* das caatingas do Seridó do Rio Grande do Norte e do Cariri da Paraíba: síntese do conhecimento atual e perspectivas. In: FREIRE, E. M. X. (Org.). *Recursos naturais das caatingas: uma visão multidisciplinar*. Natal: EDUFRRN, 2009. 239 p. p. 51-84.

FREITAS, M. A. & SILVA, T. F. S. *Guia ilustrado: a herpetofauna das caatingas e áreas de altitude do Nordeste brasileiro*. Pelotas: Useb, 2007. 384 p.

FROST, D. R. *Amphibian species of the world: an online reference*. Version 5.5. 2011. Disponível em: <<http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/>>. Acesso em: 15 set. 2014.

- GALATTI, U.; ESTUPIÑAN, R. A. T.; DIAS, A. C. L.; TRAVOSSOS, A. E. M. (2007). Anfíbios da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg) e região de Belém. *In*: GOMES, J. I.; MARTINS, M. B.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; ALMEIDA, S. S. (Orgs.). *Mocambo: diversidade e dinâmica biológica da Área de Pesquisa Ecológica do Guamá (Apeg)*. Belém: MCT/Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 75-95.
- GARCÍA, G. F. C. The mother – child nexus. Knowledge and valuation of wild food plants in Wayanad, Western Ghats, India. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 2, n. 39, 2006. DOI: 10.1186/1746-4269-2-39.
- GERHARDINGER, L. C.; GODOY, E. A. S.; JONES, P. J. S.; GERHARDINGER, L. C. Local ecological knowledge and the management of marine protected areas in Brazil. *Ocean & Coastal Management*, v. 52, p. 154-165, 2009. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2008.12.007.
- GIARETTA, A. A. & KOKUBUM, M. D. C. Reproductive ecology of *Leptodactylus furnarius* Sazima & Bokermann, 1978, a frog that lays eggs in underground chambers. *Herpetozoa*, v. 16, p. 115-126, 2004.
- HEYER, W. R. (Org.). *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.
- HOFFMANN, M.; HILTON-TAYLOR, C.; ANGULO, A.; BÖHM, M.; BROOKS, T. M.; BUTCHART, S. H.; DARWALL, W. R. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science*, v. 330, n. 6.010, p. 1.503-1.509, 2010.
- HUTCHINSON, D. A. & SAVITZKY, A. H. Vasculature of the parotoid glands of four species of toads (bufonidae: bufo). *Journal of Morphology*, v. 260, n. 2, p. 247-254, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios. Resultados do universo. IBGE, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- IZECKSOHN, E. & CARVALHO-E-SILVA, S. P. *Anfíbios do município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2002.
- KATZENBERGER, M.; TEJEDO, M.; DUARTE, H.; MARANGONI, F.; BELTRÁN, J. F. Tolerância e sensibilidade térmica em anfíbios. *Revista da Biologia*, São Paulo, v. 8, p. 25-32, 2012.
- LEITE, J. R.; SILVA, L. P.; RODRIGUES, M. I.; PRATES, M. V.; BRAND, G. D.; LACAVAL, B. M.; AZEVEDO, R. B.; BOCCA, A. L.; ALBUQUERQUE, S.; BLOCH JR., C. *Phylloseptins*: a novel class of anti-bacterial and anti-protozoan peptides from the *Phyllomedusa* genus. *Peptides*, v. 26, n. 4, p. 565-73, 2005. DOI: 10.1016/j.peptides.2004.11.002.
- LEO NETO, N. A.; MOURÃO, J. S.; ALVES, R. R. N. "It all begins with the head": initiation rituals and the symbolic conceptions of animals in Candomblé. *Journal of Ethnobiology*, v. 31, n. 2, p. 244-261, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.2993/0278-0771-31.2.244>.
- LEO NETO, N. A.; VOEKS, R. A.; DIAS, T. L. P.; ALVES, R. R. N. Mollusks of Candomblé: symbolic and ritualistic importance. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 8, n. 10, mar. 2012. DOI: 10.1186/1746-4269-8-10.
- LEVIN, J. Correlação. *In*: _____. *Estatística aplicada a ciências humanas*. São Paulo: Habra, 1987. p. 276-316.
- LINGNAU, R.; GUIMARÃES, L. D.; BASTOS, R. P. Vocalizations of *Hyla werneri* (Anura, Hylidae) in southern Brazil. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, v. 3, n. 2, p. 115-120, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v3i2p115-120>.
- MACIEL, D. C. & ALVES, A. G. C. Conhecimento e práticas locais relacionados ao aratu *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) em Barra de Sirinhaém, litoral sul de Pernambuco, Brasil. *Biota Neotropical*, v. 9, p. 29-36, 2009.
- MARQUES, J. G. W. *Pescando pescadores: ciência e etnociência em uma perspectiva ecológica*. 2. ed. São Paulo: Nupaub/USP, 1995. 304 p.

- MIGUEL, T. R.; ULISSES, C.; ABRAHAM, M. *Scinax x-signatus*. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1. IUCN, 2010.
- MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; LINS-NETO, E. M. F.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. Use patterns and knowledge of medicinal species among two rural communities in Brazil's semi-arid northeastern region. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 105, p. 173-186, 2006. DOI: 10.1016/j.jep.2005.10.016.
- MOURÃO, J. S. & NORDI, N. Pescadores, peixes, espaço e tempo: uma abordagem etnoecológica. *Interciência*, Caracas, v. 31, n. 5, p. 358-363, 2006.
- NARVAES, P. & RODRIGUES, M. T. Taxonomic revision of *Rhinella granulosa* species group (Amphibia, Anura, Bufonidae), with a description of a new species. *Arquivos de Zoologia*, v. 40, n. 1, p. 1-73, 2009.
- PANSONATO, A.; TAMÍ, M.; STRÜSSMANN, C. Anuran amphibians' diversity in a northwestern area of the Brazilian Pantanal. *Biota Neotropica*, v. 11, n. 4, p. 77-86, 2011. DOI: 10.1590/S1676-06032011000400008.
- RIBEIRO-JÚNIOR, J. W. & BERTOLUCI, J. Anurans of the cerrado of the Estação Ecológica and the Floresta Estadual de Assis, southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br/v9n1/en/abstract?inventory+bn0270901>>. Acesso em: 20 jul. 2015.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. Metodologia de pesquisa. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- SEGALLA, M. V.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C. A. G.; GARCIA, P. C. A.; GRANT, T.; HADDAD, C. F. B.; LANGONE, J. *Brazilian amphibians: list of species*. 2014. Disponível em: <<http://www.sbherpetologia.org.br>>. Acesso em: 1.º mar. 2016.
- SILVA, J. M. C.; SOUZA, M. A.; BIEBER, A. G. D.; CARLOS, C. J. Aves da caatinga: status, uso do habitat e sensibilidade. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.). *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 237-274.
- SILVA, T. S. da & FREIRE, E. M. X. Perception and use of fauna resources in communities surrounding a conservation unit in northeast Brazil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Maringá, v. 32, n. 4, 2010. DOI: 10.4025/actascibiols.v32i4.5668.
- SOUTO, F. J. B. *A ciência que veio da lama: etnoecologia em área de manguezal*. Recife: Nupeea/Sociedade Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia, 2008.
- SPRADLEY, J. P. & MCCURDY, D. W. *The cultural experience: ethnography in complex society*. Tennessee: Kingsport Press of Kingsport, 1972.
- STEBBINS, R. C. & COHEN, N. W. *A natural history of amphibians*. Nova Jersey: Princeton University Press, 1995.
- SUGAI, J. L. M. M.; TERRA, J. D. S.; FERREIRA, V. L. Anurans of a threatened savanna area in western Brazil. *Biota Neotropica*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2014. DOI: 10.1590/S1676-06034058.
- TURVEY, N. *Cane toads: a tale of sugar, politics and flawed science*. Sydney: Sydney University Press, 2013.
- VALENCIA-AGUILAR, A.; CORTÉS-GÓMEZ, A. M.; RUIZ-AGUDELO, C. A. Ecosystem services provided by amphibians and reptiles in neotropical ecosystems. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, v. 9, p. 257-272, 2013. DOI: 10.1080/21513732.2013.821168.
- VIEIRA, W. L. S.; ARZABE, C.; SANTANA, G. G. Composição e distribuição espaço-temporal de anuros no Cariri paraibano, Nordeste do Brasil. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 3, p. 383-396, 2007.
- VIERTLER, R. B. Métodos antropológicos como ferramenta para estudos em etnobiologia e etnoecologia. In: AMOROZO, M. C. M.; MING, L. C.; SILVA, S. P. (Orgs.). *Métodos de coleta e análise de dados em etnobiologia, etnoecologia e disciplinas correlatas*. Rio Claro: Editora da Unesp, 2002. p. 31-46.
- VITT, L. J. & CALDWELL, J. P. *Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles*. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2009.

CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN FUNCTION OF DIFFERENT SOIL USES IN THE IRRIGATED PERIMETER OF ICO-MANDANTES IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO, BRAZIL

MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES DO SOLO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO DE ICÓ-MANDANTES NA REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO, BRASIL

Rossini Mattos Corrêa

Perito Federal Agrário, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) – Recife (PE), Brasil.

José Antônio Aleixo da Silva

Professor titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Recife (PE), Brasil.

Maria Bethânia Galvão dos Santos Freire

Professora associada da UFRPE – Recife (PE), Brasil.

Gunter Gunkel

Priv. Doz. Dr. Rer. Nat. TU Berlin, Technische Universität Berlin (TU Berlin) – Germany.

Marília Regina Costa Castro

Professora D.Sc., Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – Recife (PE), Brasil.

Corresponding address:

Rossini Mattos Corrêa
Rua Antônio Camilo Dias, 171,
apto 1202 – Madalena –
CEP: 50720-585 – Recife (PE), Brasil –
E-mail: rossini1974@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate land uses, using physical and chemical attributes in the irrigated perimeter Ico-Mandantes, between Petrolândia and Floresta, in the semiarid region of Pernambuco, Brazil. The identified uses of the land are as follows: short cycle crops (C), fruit (F), pasture (P), abandoned areas (D), and native vegetation (V). This study evaluated the uses C, F, D, P and V. In both places, samples were collected from deformed soil at 0–10, 10–30, and 30–60 cm, as well as non-deformed soil from the first two layers to the physical determinations and chemical properties. The data of physical and chemical analyses were subjected to descriptive linear analysis and multivariate analysis, the technique of principal component analysis, and clustering by the Tocher method. The use of the native vegetation differed from all other uses among the analyzed layers, thereby indicating that the productive uses which were evaluated, promote in fact changes in the physical and chemical layers studied. The analysis of the physical and chemical attributes do not differentiate any of the productive uses systematically analyzed in all layers.

Keywords: soil quality; soil management; native vegetation; land use; São Francisco; semi-arid.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar usos do solo utilizando atributos físicos e químicos no perímetro irrigado Icó-Mandantes, entre Petrolândia e Floresta, semiárido de Pernambuco. Foram identificados os usos do solo: culturas de ciclo curto (C), fruticultura (F), pastagem (P), áreas descartadas (D) e vegetação nativa (V). Neste estudo avaliaram-se os usos C, F, D, P e V. Para tanto, coletaram-se amostras de solo deformadas nas camadas de 0–10, 10–30 e 30–60 cm, e indeformadas nas duas primeiras camadas para as determinações físicas e químicas. Os dados das análises físicas e químicas foram submetidos à análise descritiva e à análise multivariada, pela técnica de análise de componentes principais, e agrupamento pelo método Tocher. O uso vegetação nativa diferenciou-se dos demais usos em todas as camadas analisadas, indicando que os usos produtivos avaliados promoveram alterações nos atributos físicos e químicos nas camadas estudadas. A análise conjunta dos atributos físicos e químicos não diferenciou nenhum uso produtivo sistematicamente em todas as camadas analisadas.

Palavras-chave: qualidade do solo; manejo do solo; vegetação nativa; uso do solo; São Francisco; semiárido.

INTRODUCTION

The inclusion of areas in agriculture in the semiarid region of Northeastern Brazil must ensure, through irrigation, the environmental sustainability of the region without which there would be no economic feasibility of the project. The sustainability of an irrigation district determines, among other things, the maintenance of soil productivity that undergoes physical and chemical changes in its biological attributes within the production systems by the application of fertilizers and pesticides, machinery transit, and a change in the water regime of the river basins and the removal of vegetation thus exposing the soil to the weather.

After the removal of natural vegetation, the soil has often seen changes in its chemical attributes, which are dependent on the weather, the type of culture and cultural practices adopted. In the semiarid region, some authors (TIESSEN *et al.*, 1992, 1998; FRAGA & SALCEDO, 2004) observed that the replacement of native vegetation, Caatinga, for agricultural crops caused significant decrease: from 40 to 50% in the levels of soil organic carbon.

Assessments of agricultural uses of soils using soil attributes as indicators are a constant work in evaluating production systems, in order to adapt systems or propose more sustainable land uses. Accordingly, Carpenedo & Mielniczuk (1990) observed that soil cultivation would bring about some physical changes, with more pronounced changes in the conventional tillage than in the conservation which is manifested usually in soil density, volume, and size distribution pores and soil aggregate stability, thereby influencing water infiltration, water erosion, and plant development.

The changes caused by the different land uses in the semiarid region, and which have characteristics like peculiar soil and climate, should be studied for the proposition of sustainable models maximizing production and avoiding degradation of natural resources. This study aimed to evaluate land uses in an irrigated perimeter in the semiarid region of Northeastern Brazil using physical and chemical attributes of the soil.

MATERIAL AND METHODS

The site of the study was the irrigated perimeter of Ico-Mandantes, Block 3, located in the municipality of Petrolândia, Pernambuco, on the shores of the Itaparica Reservoir, São Francisco River, which is a part of the resettlement conducted by the Hydroelectric Company of San Francisco (CHESF). They are areas of soils developed from sedimentary rocks, mainly sandstones and shales of the cretaceous calciferous. The climate, according to the Köppen classification, is characterized as BSw'h', semi-arid climate with a short rainy season (average of 460 mm), and the native vegetation of the region is the Hiperxerophilic Caatinga (THEMAG, 1986).

All plots visited for the identification of land uses, were irrigated. In agricultural lots, there were landmarked area for each use and information as the type(s), of the crop(s), the irrigation system, the batch production situation, and when necessary the location of the various uses within the batch. The Hydroelectric Company of São Francisco River (CHESF) in some cases discarded some lots considered unfit for cultivation and agricultural uses.

It was then possible to classify the uses in the following manner:

1. short cycle (C): areas cultivated with annual crops, the most representative pumpkin, watermelon, cilantro, corn, and beans;
2. fruit (F): the cultivated areas were predominantly with banana, coconut, guava, and mango. The movement of the soil by plowing and disking is only the deployment of crops, without the use of machinery in harvesting and treatment plant;
3. pasture (P): these areas are continually used as native pasture in some cases and in others, between periods of cultivation of short cycle more widely spaced, with an intermediate soil movement between uses C and F, where, in general, to maintain the pasture, it is practiced over irrigation;
4. abandoned areas (D): areas as identified by CHESF not recommended for agricultural practices, as well as areas with regeneration of the native vegetation;
5. native vegetation (V): original areas of Caatinga, without human intervention or historical agricultural crop.

It is noteworthy that the uses related to agricultural systems, i.e. C, F, P, and D, were conducted with the practice of irrigation, except use D when it was observed that there were signs of the vegetation regeneration.

After the identification of uses in the area, using the map of soils classification, it was selected as the area for the study with sandy texture. These soils are more representative of the perimeter, with approximately 50% of the area irrigated.

Along with the definition of the total area of each use in sandy soils, was taken into consideration the possibility of an homogeneity in the attributes of soils under different land uses, and it was adopted as stratified random sampling (MEUNIER *et al.*, 2001). The sampling unit was set to 0.5 hectare, submultiple of the area of lots (1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 ha). Each sample unit was located on the map and received an identification code to draw.

For each use, single soil samples were collected in 15 randomly selected points at 0–10, 10–30, and 30–60 cm, making the use of repetitions, totaling 225 samples, and holding the collection of soil samples in layers 0–10 and 10–30 cm for the determination of bulk density.

For the physical properties, the following were determined: the granulometric composition and clay dispersed in water (ADA) by the method of the densitometer, the bulk density (BD) by the method of volumetric cylinder (sample un deformed), the particle density with the volumetric flask and saturated hydraulic con-

ductivity of the permeated vertical column and constant load (EMBRAPA, 1997). With the data of particles and bulk density, it was calculated as total porosity (TP), and with a total clay and clay dispersed in water, it was calculated as the degree of clay flocculation (DCF).

The following chemical attributes in the samples were determined: pH and electrical conductivity (CE) of the soil and soil saturation extract (pHes, CEes) (Richards, 1954). In soil, the pH in water (1:2.5) is available at P with Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997) and assayed by colorimetric (BRAGA & DEFELIPO, 1974), total organic carbon (TOC) by the Walkley-Black (MENDONÇA & MATOS, 2005), Ca, Mg, K, Na, and CTC (RICHARDS, 1954). After, it was calculated as the sum of bases (SB), the percentage of base saturation (V%) and the exchangeable sodium percentage (ESP). The carbon stock (CS) in a certain depth (Mg ha^{-1}) was calculated by $\text{CS} = (\text{TOC} \cdot \text{Ds}) \cdot \text{e} / 10$, where TOC is the total organic carbon content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), Ds is the average density of the soil depth ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$) and the layer thickness (cm).

After calculating descriptive statistical data, it was used as the principal components analysis (PCA) to evaluate the characteristics of soils in sets of physical and chemical attributes (SOUZA, 2001). It was adopted as the minimum PCA involving at least 80% of the total variation (CRUZ *et al.*, 2004). The Tocher method for the cluster analysis was held from scores of PCA retained for interpretation according to the criterion adopted, applying as a measure of dissimilarity, the mean Euclidean distance (RAO, 1952).

RESULTS

Physical attributes

The descriptive statistics for the different land uses are shown in Table 1.

Land use D showed the highest average density of particles in three layers, followed by using C, other uses had values considerably smaller and similar.

The average values of Sd and TP were similar for use in the V layer. For other uses there was an increase of mean values of Sd and a decrease in PT 10–30 cm layer in comparison to the 0–10 cm. In the 10–30 cm layer uses, the C and D values were observed slightly larger

than that observed Sd for use V. The CDW in the surface layer of uses P and F showed average values, while the use of higher value has been in use D. By observing the results of CDW in depth there were increases in the subsoil layers, especially in the use D, from 7.94% in the 0–10 cm layer to a value exceeding 11% of the total clay in the lower layers.

The FD had an inverse relationship with the CDW values, was consistent with the CDW data, observing the highest values of FD uses for P and F, an intermediate value for the use of V and lower values for the uses D and C.

Table 1 – Mean and standard deviation (s) of physical attributes of the land uses corresponding to short cycle (C), discarded area (D), fruit (F), pasture (P) and native vegetation (V).

Atributes	Layer (cm)	Soil uses									
		C		D		F		P		V	
		\bar{Y}	s	\bar{Y}	s	\bar{Y}	s	\bar{Y}	s	\bar{Y}	s
Pd (kg.dm ⁻³)	0–10	2.56	0.10	2.60	0.08	2.48	0.08	2.50	0.08	2.50	0.08
	10–30	2.57	0.10	2.62	0.09	2.48	0.09	2.51	0.09	2.49	0.07
	30–60	2.56	0.13	2.59	0.10	2.52	0.11	2.52	0.10	2.49	0.13
Sd (kg.dm ⁻³)	0–10	1.65	0.07	1.69	0.07	1.62	0.06	1.60	0.14	1.69	0.08
	10–30	1.76	0.16	1.80	0.10	1.72	0.10	1.70	0.14	1.69	0.15
TP	0–10	0.36	0.04	0.35	0.03	0.35	0.04	0.36	0.06	0.33	0.05
	10–30	0.32	0.07	0.31	0.05	0.31	0.05	0.32	0.06	0.32	0.07
Sand (g.kg ⁻¹)	0–10	860.1	45.7	848.0	32.1	881.0	69.7	891.6	27.7	876.9	34.0
	10–30	844.5	32.6	820.5	55.7	877.9	24.0	869.3	29.1	873.2	28.8
	30–60	825.7	50.5	813.1	62.4	861.7	21.5	840.3	48.6	866.5	19.1
Silt (g.kg ⁻¹)	0–10	40.1	22.2	37.6	13.7	42.2	67.1	24.6	17.2	25.2	16.8
	10–30	33.1	17.1	33.1	10.5	20.2	7.5	21.4	9.7	18.9	11.0
	30–60	36.0	19.0	33.2	11.8	25.1	10.1	26.8	14.8	21.9	9.6
Clay (g.kg ⁻¹)	0–10	99.9	29.6	114.4	22.5	76.8	11.4	83.8	19.7	98.0	20.0
	10–30	122.4	24.1	146.4	56.7	101.9	22.8	109.3	25.5	107.9	21.0
	30–60	138.2	36.4	153.7	55.9	113.3	19.4	132.9	39.1	111.6	10.7
CDW (g.kg ⁻¹)	0–10	73.2	29.1	79.4	28.1	49.7	16.0	48.1	25.4	63.3	11.7
	10–30	90.3	21.7	118.4	56.9	76.1	23.1	76.3	34.0	68.2	13.5
	30–60	87.0	42.8	110.3	66.2	77.1	29.5	86.8	54.7	72.6	16.7
DCF (%)	0–10	29.65	11.1	31.46	16.4	36.56	18.5	45.80	25.3	34.95	7.44
	10–30	26.58	6.3	20.46	9.59	26.24	8.19	32.48	23.7	36.61	5.31
	30–60	37.40	20.5	29.91	23.4	32.48	20.8	36.50	28.1	35.23	11.9
SHC (cm.h ⁻¹)	0–10	25.89	15.8	21.99	9.90	38.86	16.7	30.30	12.2	17.75	9.4
	10–30	18.68	7.9	16.98	8.97	30.81	14.2	26.18	12.5	20.24	17.6
	30–60	19.56	13.6	16.59	11.1	28.40	12.2	17.86	12.1	13.41	5.9
Depth (m)		1.81	0.52	1.11	0.66	2.11	0.25	1.96	0.51	1.93	0.5

\bar{Y} : mean; s: standard deviation; Pd: particle density; Sd: soil density; TP: total porosity; CDW: clay dispersed in water; DCF: degree of clay flocculation; SHC: saturated hydraulic conductivity.

While valuating the depth of the layer for soil prevention were observed in the uses of high average values

CHEMICAL ATTRIBUTES

The descriptive statistics for the different land uses are shown in Table 2.

Observe pHs and pHse with values close to zero. Considering the use BS as the standard, inserting a cultivation system in raise of pHs, particularly in the surface layer of the soil. The PHse showed higher values, even surpassing the value of 7.0, characteristic of neutral ground reaction.

ECse increased in all uses compared to soils under native vegetation. These increases, although not sufficient to classify soils as saline, demonstrate the significant increase of salts on the surface. Regarding the use

M, C, P and V, while in the use of the average depth D was 1.11 m (Table 1).

of BS with ECse 0.23 dS.m⁻¹ at 0–10 cm was observed for the uses C, D, and P values CEes of 0.91, 0.80, and 0.76 dS m⁻¹, respectively, significantly higher than V using reference. Using F presented for the 0–10 cm CEes of 0.38 dS.m⁻¹, the use value greater than V, but significantly lower than those recorded for other uses.

The mean values of the ESP for all uses layers evaluated were low, not exceeding 3.5%, except use P at 0-10 cm, which showed 5.6% ESP.

Observing the values of CEC, it was found that the low values are justified by the low clay soils found in the

Table 2 – Mean and standard deviation (s) of the chemical properties of soils corresponding to the uses: short cycle (C), discarded area (D), fruit (F), pasture (P) and native vegetation (V).

Attribute	Layer (cm)	Soil uses									
		C		D		F		P		V	
		\bar{Y}	s	\bar{Y}	s	\bar{Y}	S	\bar{Y}	s	\bar{Y}	s
pHs	0 – 10	6.01	0.62	6.31	0.64	6.73	0.66	6.27	0.57	5.15	0.69
	10 – 30	5.51	0.84	5.96	0.95	5.98	0.66	5.91	0.96	4.69	0.37
	30 – 60	4.98	0.81	5.57	0.79	5.27	0.81	5.53	1.20	4.66	0.41
pHse	0 – 10	6.75	0.48	7.28	0.58	7.10	0.64	6.79	0.59	5.58	1.04
	10 – 30	6.12	0.96	6.77	0.86	6.51	0.69	6.62	0.58	5.45	0.79
	30 – 60	6.04	0.92	6.80	0.88	5.84	0.93	6.38	1.00	5.42	0.71
ECse (dS.m ⁻¹)	0 – 10	0.91	0.85	0.80	0.79	0.38	0.11	0.76	0.51	0.23	0.11
	10 – 30	0.48	0.33	0.49	0.47	0.20	0.11	0.47	0.38	0.12	0.04
	30 – 60	0.45	0.43	0.40	0.22	0.21	0.17	0.34	0.17	0.10	0.05
Na (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	0.05	0.09	0.08	0.07	0.03	0.04	0.09	0.11	0.07	0.16
	10 – 30	0.07	0.12	0.09	0.19	0.07	0.12	0.08	0.06	0.06	0.10
	30 – 60	0.08	0.13	0.09	0.14	0.09	0.09	0.06	0.05	0.04	0.04
CEC (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	3.06	2.43	3.32	1.47	2.08	0.59	2.16	1.35	2.78	1.08
	10 – 30	3.49	2.31	4.51	4.15	2.25	0.92	2.80	1.58	2.40	0.86
	30 – 60	4.02	2.87	4.48	3.35	2.73	1.30	3.88	2.68	1.95	0.60

Continue...

Table 2 – Continuation.

Attribute	Layer (cm)	Soil uses									
		C		D		F		P		V	
		\bar{Y}	s	\bar{Y}	s	\bar{Y}	S	\bar{Y}	s	\bar{Y}	s
ESP (%)	0 – 10	0.98	1.28	2.52	2.47	1.22	2.24	5.61	11.61	1.87	3.28
	10 – 30	1.39	1.25	1.33	1.32	2.62	3.95	3.00	2.82	2.04	3.36
	30 – 60	1.93	2.34	1.33	1.17	3.38	3.94	1.91	1.41	1.96	1.96
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	2.29	1.05	2.44	0.74	1.82	0.41	1.97	0.77	1.33	0.59
	10 – 30	2.12	0.96	3.16	1.80	1.42	0.49	1.93	1.30	1.18	0.43
	30 – 60	1.75	0.96	2.66	1.67	1.20	0.43	1.76	1.21	0.86	0.32
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	0.34	0.23	0.38	0.13	0.24	0.05	0.24	0.14	0.12	0.08
	10 – 30	0.34	0.33	0.67	0.93	0.19	0.06	0.28	0.21	0.09	0.08
	30 – 60	0.32	0.43	0.62	0.56	0.13	0.04	0.26	0.27	0.07	0.07
K (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	0.28	0.16	0.43	0.16	0.14	0.09	0.28	0.19	0.23	0.07
	10 – 30	0.27	0.11	0.31	0.11	0.14	0.08	0.21	0.17	0.17	0.07
	30 – 60	0.22	0.12	0.23	0.15	0.16	0.10	0.24	0.13	0.15	0.04
SB (cmol _c .dm ⁻³)	0 – 10	2.93	1.40	3.33	0.92	2.08	0.71	2.57	1.00	1.75	0.74
	10 – 30	2.77	1.41	4.23	2.78	1.82	0.54	2.50	1.47	1.50	0.45
	30 – 60	2.37	1.43	3.59	2.42	1.58	0.41	2.33	1.53	1.13	0.35
BS (%)	0 – 10	91.06	12.53	89.23	16.54	93.15	10.88	94.98	7.77	64.43	22.44
	10 – 30	81.36	17.59	87.63	14.38	77.61	22.06	93.51	65.67	67.19	25.47
	30 – 60	64.27	21.93	76.27	22.60	63.73	24.24	64.82	24.58	62.41	26.50
P (mg.dm ⁻³)	0 – 10	42.08	22.64	39.68	28.07	28.52	25.39	35.18	27.24	7.40	2.69
	10 – 30	25.68	17.46	23.90	27.75	15.23	15.05	13.79	9.12	4.62	1.05
	30 – 60	7.31	4.04	13.20	15.15	5.92	2.89	9.72	8.53	4.10	0.94
OC (dag.kg ⁻¹)	0 – 10	0.55	0.11	0.52	0.15	0.45	0.08	0.47	0.11	0.56	0.10
	10 – 30	0.33	0.09	0.38	0.15	0.29	0.05	0.31	0.10	0.41	0.13
	30 – 60	0.31	0.09	0.32	0.15	0.24	0.05	0.29	0.10	0.31	0.07
CS (Mg.ha ⁻¹)	0 – 10	9.24	1.82	8.81	2.41	7.36	1.37	7.26	1.85	9.36	1.70
	10 – 30	11.54	3.75	13.87	5.42	9.98	1.98	10.63	3.65	13.82	5.02

pHs: pH of soil; PHse: pH of the saturation extract; ECse: electrical conductivity of the saturation extract; CEC: cation exchange capacity; ESP: exchangeable sodium percentage; SB: sum of bases; SB: base saturation; OC: total organic carbon; CS: carbon stock.

study (Table 1). This also contributed to the results obtained in base saturation, in which small amounts of exchangeable bases occupy almost all the electrical charges of the colloids.

It was observed that the base saturation was high for all uses and it was observed between productive uses similar and higher values in the 0–10 and 10–30 cm. In the 30–60 cm layer only use D showed a value considerably higher than that using V and it showed similar values of base saturation in all layers and lower than those observed for other uses in the 0–10 and 10–30 cm, although correspond to values around 65%.

Similar values were observed for the SB, between uses V and F in all layers, and the other productive uses showed average values of SB higher than that observed in the use V at 0–10 and 10–30 cm layer of 30–60 cm using D had the highest value for this variable.

Principal component analysis applied in conjunction with physical and chemical attributes

Figure 1 shows the dispersion of the physical and chemical attributes of the soil layer.

The principal component analysis applied to physical and chemical variables, to the joint analysis in the 0–10 cm which retained the first three PCA that together explained 95.64% of the total variation of the data. The PC1 explained 45.31% of the total variation. The uses C and D differed from other uses in this component, they had the greatest influence of the variables calcium, magnesium, potassium, CEC, SB (all negatively related to axis) and physical Pd, clay content, CDW (negatively related axis) and content of sand and soil depth, positively related to the axis, with all correlation with the variable component in modulus greater than 0.77.

The PCA2 gathered 35.50% of the total variation, the most influential variables in this component were pHs, pHse, P, V, hydraulic conductivity, and porosity (positively related to axis) and organic C, SHC, and soil density negatively related to the axis. Analyzing the PCA2, it was found that using V presented in relation to other uses, slightly higher values of organic C, SHC, and bulk density and lower pHs, PHes, K, SB, K, and total poros-

The average values of phosphorus concentration were higher in the uses related to production systems at the 0–10 cm layer in the middle of 10–30 and lows in the 30–60 cm layer. Using V showed low mean values (CAVALCANTI *et al.*, 1998), the highest values were observed in the use related to production systems which possibly occurred due to the application of fertilizers on adopted crops.

The average values of OC were low for all uses. Using V showed the highest average values in all layers evaluated. Among the cultivated soils related to uses C and D had higher levels of OC, while the F and P uses the ones presented below.

The average values of the SHC confirmed the results of the OC accumulation of uses. Using V presented the highest value of the sum of the values of SHC layer 0–10 cm and 10–30 cm, 23.18 Mg ha⁻¹, uses D and C had 22.68 and 20.78 Mg ha⁻¹, respectively, and uses P and F showed 17.89 and 17.34 Mg ha⁻¹, respectively.

ity, an interpretation confirmed by the observation of mean values in Tables 1 and 2.

The PCA3 gathered 14.83% of the total variation, and the most influential variables in this component were sodium and ESP (positively related to axis) silt and negatively related to the axis, all variables with value in module, with a correlation between the variable and component greater than 0.79. The analysis of PCA3 (Table 1) revealed that using P values were slightly higher sodium, ESP and lower values of silt, which possibly led to this use were not similar to uses F, C and D, interpretation confirmed by analysis of mean values of variables in Tables 1 and 2.

The cluster analysis identifies three groups. Use V was isolated in a group in the same manner using P, and the other group involved the use D, C, and F. All uses related to production systems distanced themselves from the use V.

In the 10–30 cm layer, the analysis of PCA applied to the physical and chemical attributes jointly identified to PCA. The PC1 explained 66.48% of the total variation and PC2 accounted for 22.91%, together gathered 89.39% of the total variation.

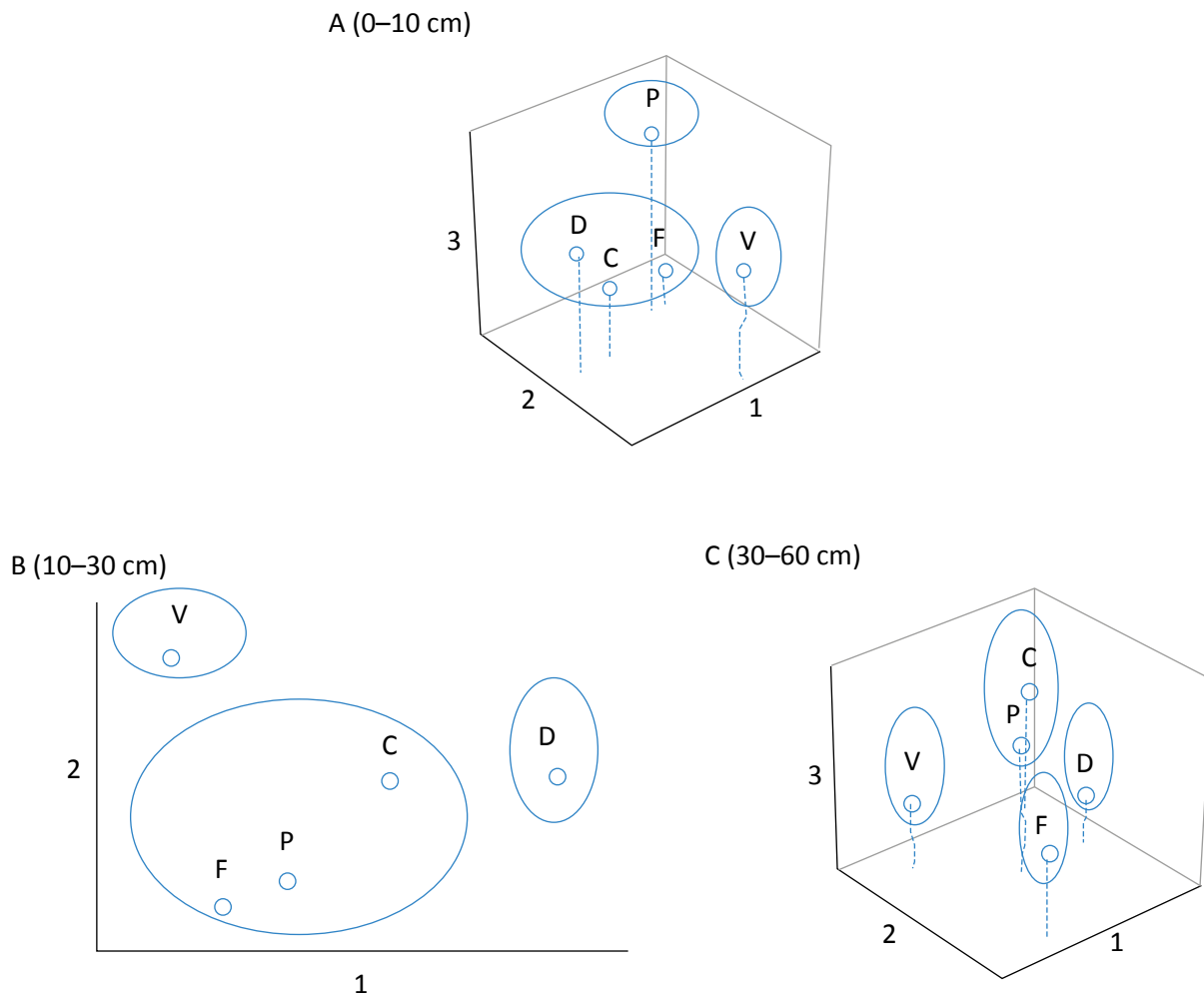


Figure 1 – Dispersion of the physical and chemical attributes of the soil layer in relation to major components (1, 2, and 3) grouped by the Tocher method (circles and ellipses) for the uses short cycle (C), discarded area (D), fruit (F), pasture (P), and native vegetation (V).

The variables most effective in PCA1 were CEse, content of Ca, Mg, K, Na, and P, CTC, SB, Pd, silt, clay, CDW, and Ds (positively related to axis) and sand, soil depth, and GF negatively related to the axis. The main component 2 presented as the most effective variables: pH, PHes, OC, SHC, hydraulic conductivity, and porosity, all with correlation values between the variable component and in module, above 0.74.

Cluster analysis identified three groups according to the similarities of their physical and chemical properties, one of the uses formed with C, P, and F, and the other using V, which also happened to use D.

Three PCAs were retained in the analysis of the physical and chemical attributes jointly layer of 30–60 cm, explaining 95.26% of total variation distributed at 69.62, 16.25, and 9.40%, respectively, in the PC1, 2, and 3. The PCA1 showed greater intensity of the variations in the 15 attributes: PHES, CEes, calcium, magnesium, potassium, CEC, phosphorus, SB, V, Pd, silt, clay, and ADA (positively related to axis) and sand and soil depth negatively related to the axis, all variables correlated with the component, module, greater than 0.79. In PCA2 the most important factors in the total variation were hydraulic conductivity, organic C, sodium and ESP, correlating to the largest component in

module, which in PCA3 0.75 and the most influential variable was correlated positively to GF with a component of 0.84. Analyzing the PCA2, we found that using V had the lowest sodium, CTC, hydraulic conductivity (Tables 1 and 2). These results away from the use of

V F, both presented themselves isolated in the cluster analysis (Figure 1) with great influence of PCA2.

Cluster analysis has identified four groups: were stranded together forming unit uses V, D, and F, the other group was formed by the uses C and P.

DISCUSSION

Possibly, every day practices in the region as plowing and harrowing decreased soil density and increased porosity in the surface layer of 0–10 cm of uses D, C, F, and P. In the 10–30 cm layer uses, the C and D values were observed slightly higher bulk density than that observed for using V (Table 1). As these uses have suffered greater movement of the soil (plowing and harrowing) according to the adopted production management in the region, probably been a soil compaction due to traffic engineer or densification of this layer, the migration of colloidal particles of soil.

The influence of soil management on physical attributes was observed by Silva *et al.* (2005), the authors evaluated the effect of long term (17 years) of conventional tillage, reduced tillage and no-tillage on soil physical properties of an Ultisol, with medium texture in Rio Grande do Sul. Additionally, it was incorporated into the study of an area of native grass as a reference to the natural condition of the soil. The samples were collected in layers of 0–2.5, 2.5–7.5, 7.5–12.5, and 12.5–17.5 cm in a succession vetch/corn. These authors observed that the total porosity varied more with depth than with tillage systems. Regarding depth, porosity was highest in surface than in subsurface. These results were similar to those observed in this study.

With the aim of studying the changes in soil properties for different uses, Su *et al.* (2004) evaluated the pasture system, the transformation of this area into cultivation of short cycle fallow for three years and a grazing area for five years. The pasture area of study had degraded and was part of the sandy soils in semi-arid region of Horgin, China. The fallow for five years has resulted in significant improvements in soil properties in the 0–7.5 cm layer of depth. Soil bulk density was significantly lower in fallow relative to short-cycle crops and grazing area in the layer 0–2.5 cm and 0–7.5 cm layer was second only to the cultivation of short cycle. From 7.5 cm occurred not influence the uses of soil density and soil organic carbon. This result was similar to that

obtained in this study, where use C showed a value of bulk density higher than that observed for the use of P (Table 1). However, changes in soil density were observed in layers deeper than 7.5 cm, and discrete changes in soil density in the layer of 10–30 cm for the uses C and D with respect to use V (Table 1), which possibly occurred due to soil management practices.

This analysis showed that the change in agricultural practice has caused the soil's physical properties under native vegetation when they were incorporated into production systems. Similar results were observed by other authors who found significant modifications of the physical characteristics of soils after the incorporation in agricultural systems. According to Rosa Junior *et al.* (2006), values of flocculation were influenced by land use, which was significantly lower for the conditions under annual crops than for soils under pasture and native vegetation, which showed no significant difference between them. Souza *et al.* (2005) evaluated physical attributes in a Quartz Neosol under different uses: corn, soybeans, pasture, crop–livestock integration and anthropic savannah. These authors noted that this soil was a reduction in total porosity and macroporosity and increase in soil density in all areas were observed, when compared with native vegetation, with the exception of anthropogenic savanna. Possibly the mechanization of soil and cattle trampling contributed to the decline in soil quality.

The increase of CDW values with depth may be indicative of a migration of colloids in the soil profile, more pronounced in the uses related to production systems, with increased dispersion in depth and decreased concentration of clay in the topsoil already presented low values of this colloid great importance in physical and chemical reactions. In use D shallow soil, clay migration, due to the proximity, preventing layer may further hinder the movement of water in this layer. Maia *et al.* (2006) observed an increase in the depth of the CDW, realizing the existence of a direct relationship between

increased CDW and decreased COT, similar results were observed in this study (Tables 1 and 2).

Silva *et al.* (2006) found that management systems with cane sugar influenced the physical properties of the soil, resulting in increased water dispersible clay and reduction in water aggregate stability of cultivated soils in relation to forest soil. Similar results were observed in this work at the 0–10 cm, with respect to use V, uses C and D had slightly higher values of CDW (Table 1), possibly due to the effect of soil disturbance. In the work it was found a different result observed by Silva *et al.* (2006) uses the P and F, in such a smaller movement of the soil by plowing and harrowing practical as compared with practices C and D, plus the highest concentration of calcium and magnesium flocculants, with respect to use possibly afforded V, CDW uses these values lower than those observed in native vegetation (Tables 1 and 2).

The low soil depth D hinders the use of soil drainage and leaching of salts and sets the groundwater near the surface potentiating the capillary rise of salts that accumulate on the surface layer over time may reach levels that limit the full development of crops. This was not observed probably due to the short period of operation the perimeter nine. Additionally, the proximity of the surface of the water table impairs growth of plants by oxygen deficiency and reduced layer of soil explored.

In the range 6.0 to 6.5, it was observed pHs values for the uses C, D and P; the ground reaction for these uses is therefore favorable to full production plant, this evaluation can also be applied to use F for presenting a pH value slightly above 6.5 (pH of 6.7 in the use F). The use of V that never received the application of correctives resulted in pH acid, which was an expected result.

The EC_{se} values observed in C, D and P uses do not classify soils as saline, but deserve special attention because they are significantly higher than using V despite the sandy texture of the soil and the quality of water used for irrigation classified as C1S1, without the risk of salinization and sodification soil, according to Richards (1954). Special focus should be on using D due to its shallower limiting the leaching of salts, and to facilitate the rise of salts dissolved in the water by capillarity, promoting soil salinization. The use of F presented smaller EC_{se} values compared to other productive uses possibly due to better irrigation management.

The average values for phosphorus concentration in the 30–60 cm layer, observed in uses relating to production systems, still showed considerably greater than that observed for the use of V, except for using F (Table 2), possibly occurred a movement of this element of the surface layer of 0–20 cm, where usually occurs the application of fertilizers. The low clay content, which operates in the phosphorus fixation, and water movement in the soil profile due to irrigation probably contributed to the greater movement of this element, usually slightly mobile in soil. The use of F, possibly the best irrigation management, resulted in less movement of phosphorus in the soil.

The uses of F and P presented lower values of total organic carbon (Table 2), contrary to the expected result, since the soil management normally associated with these uses has a smaller disturbance. The most significant reductions were observed between the V and F uses with reduced values of total organic carbon content of approximately 19, 28 and 21%, respectively, in the layers of 0–10, 10–30 and 30–60 cm. Sandy soils usually with good aeration possibly were little influenced by aeration increase caused by soil management by plowing and harrowing. The use of V for not being irrigated has low soil moisture for most of the year, probably, presented reduced rate of decomposition of organic matter which must be contributed to that use presents the higher C-organic content. It is noteworthy that the low depth average of the D use may have contributed to the saturation of water from the surface layers of these soils, especially in the rainy season, normally with high intensity, turned the environment less oxidative, allowing more organic C accumulation.

Other authors observed the influence of soil management on the total organic carbon content. Maia *et al.* (2006) evaluated the impact of agroforestry and conventional systems on soil quality, compared to the natural condition (native savanna) after five years of use in Ceará semiarid region. The treatments were: agrosilvopastoral (AGP); silvipastoral (SILV); traditional cultivation in 1998 and 1999 (TR98); traditional cultivation in 2002 (TR02); and intensive cultivation (CI) and two areas of native forest (MN-1 and MN-2) that were used as reference of equilibrium sites. The AGP treatments, TR98 and CI promoted greater soil disturbance, causing a reduction in the total organic carbon (TOC). The AGP treatment was efficient in nutrient cycling, how-

ever soil disturbance and the concomitant reduction in OC content also led to decrease in aggregate stability. A similar result was observed in this study, in which different land uses provided considerable differences in the TOC content and the carbon stock (Table 2).

Changes in physical and chemical properties were characterized on the analysis since the use V was isolated in the cluster analysis performed in scores of principal components, observed in the three evaluated layers. A similar result was observed by Leonardo (2003).

CONCLUSIONS

Use native vegetation differed from other uses in all analyzed layers, indicating that the productive uses evaluated promoted changes in physical and chemical properties in the soil layer.

The analysis of the physical and chemical attributes did not differentiate any productive use systematically in all analyzed layers.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to thank the National Scientific and Technological Development Council (CNPq) and the Hy-

droelectric Company of the São Francisco Valley (Chesf) by granting resources that enabled this work.

REFERENCES

- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v. 21, p. 73-85, 1974.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.
- CAVALCANTI, F.J.A. (Org.) *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação)*. Recife: IPA, 1998. 198p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 480p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 68, p. 215-224, 2004.
- LEONARDO, H.C.L. *Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná*. 2003. 131f. (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.
- MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.
- MEUNIER, I.M.J.; SILVA, J.A.A.; FERREIRA, R.L.C. *Inventário florestal: programas de estudo*. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2001. 189 p.

- RAO, C.R. *Advanced statistical methods in biometric research*. New York: John Wiley & Sons, 1952. 390 p.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook – n. 60).
- ROSA JUNIOR, E.J.; MARTINS, R.M.G.; ROSA, Y.B.C.J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, p 37-44, 2006.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência. Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.
- SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G.; LIMA, J.F.W.F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, nov. 2005.
- SOUZA, G.S. *Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear*. EMBRAPA, 2001. 489 p.
- SU, Y.Z.; Zhao, H.L. ; Zhang, T.H. ; Zhao, X.Y. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil & Tillage Research*, Madison, v. 75, p. 27-36, 2004.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture Ecosystems Environment*, Amsterdam, v. 38, p. 139-151, 1992.
- TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. *Climatic Change*, v. 40, p. 105-117, 1998.
- THEMAG. *Relatório de estudos edafoclimáticos dos projetos Chesf da Borda do Lago de Itaparica – margem esquerda*. Recife, 1986. 214 p.