



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



R B C I A M B

Revista Brasileira de Ciências Ambientais
Setembro de 2017

Nº 45



ISSN Eletrônico 2176-9478

Expediente

Editor Geral

Maurício Dziedzic

Editores Internacionais

Günter Gunkel - Alemanha

Jose Alfaro Joins - Estados Unidos

Manuela Morais - Portugal

Oscar Parra - Chile

Editores Nacionais

Adriana Marques Rossetto

Liliana Pena Naval

Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

Mário Augusto Gonçalves Jardim

Tadeu Fabrício Malheiros

Conselho Editorial

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, Maria do Carmo Martins Sobral, Miguel Mansur Aisse, Valdir Fernandes, Wanderley da Silva Paganini

Coordenação

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES

Presidente Nacional da ABES

Roberval Tavares de Souza

Responsáveis

Allan Rodrigues

Soraia F. F. Fernandes

Produção Editorial

Zeppelini Publishers

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

1 - REAPROVEITAMENTO DE DORMENTES DE MADEIRA DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS PARA A COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Reuse of wood ties from Carajás Railway for the cogeneration of electricity

Fábio Gorayeb Damasceno - Valente José Matlaba - Jorge Filipe dos Santos - José Aroudo Mota

19 - IMPACTO DO EFEITO DE BORDA SOBRE A COMUNIDADE DE SAMAMBAIAS EPIFÍTICAS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA

Impact of edge effect on the community of epiphytic ferns in araucaria forest

Vinícius Leão da Silva - Ivanete Teresinha Mallmann - Simone Cunha - Jairo Lizandro Schmitt

33 - SETOR SUCROENERGÉTICO: UMA ANÁLISE SOB O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE

Sugar-alcohol sector: an analysis under the sustainability tripod

Reginaldo Aparecido Verri - Rosa Maria Ribeiro - Francielli Gasparotto

48 - AS TRANSFORMAÇÕES DO CERRADO EM MORRINHOS (GO): UMA HISTÓRIA NARRADA PELO ASSENTAMENTO TIJUQUEIRO

The transformations of Cerrado in Morrinhos (GO): a story narrated by the Tijuqueiro Settlement

Ressiliane Ribeiro Prata-Alonso - Flávio Reis dos Santos

61 - ANÁLISE DO COMPONENTE VEGETAL NA ALIMENTAÇÃO DE PEIXES E DA RELAÇÃO COM A DISPERSÃO DE SEMENTES NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

Analysis of the vegetal component in fish feed and relationship with seed dispersal in the Pantanal Mato-grossense

Amabilen de Oliveira Furlan - Claumir Cesar Muniz - Maria Antonia Carniello

71 - POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL ITUPARARANGA: PERCEPÇÕES DE EDUCADORES E EDUCANDOS

Pedagogical potentialities of Itupararanga Protection Area: perceptions of educators and students

Gabriela Godinho de Almeida - Rogério Hartung Toppa - Andréia De Fiori

86 - ESTUDO DO PROCESSO DE TORREFAÇÃO DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS PARA FINS ENERGÉTICOS

Study of the torrefaction process biomass wastes for energy purposes

Allison Gonçalves Silva - Thaise Alves dos Santos - Marcus Luciano Silva de Ferreira Bandeira - Priscila Ferreira de Oliveira

100 - DIAGNÓSTICO DOS INVENTÁRIOS DE FAUNA EM ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE ATERRO SANITÁRIO

Diagnosis of fauna inventories in environmental impact studies of landfill

Dante Cavalheiro Garcia - Giovano Candiani

115 - O PLANO DIRETOR INFLUENCIA NA PRODUÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS? UM ESTUDO DE CASO NA MICROBACIA DO PIRAJIBU-MIRIM, EM SOROCABA, SP

Does the master plan influence in the production of environmental services? a study case in the Pirajibu-Mirim watershed, Sorocaba, SP

Carina Júlia Pensa Corrêa - Kelly Cristina Tonello - Fernando Silveira Franco - Marcelle Teodoro Lima

130 - ENERGIA EM TEMPO DE DESCARBONIZAÇÃO: UMA REVISÃO COM FOCO EM CONSUMIDORES FOTOVOLTAICOS

Energy in time of decarbonisation: a review focused on photovoltaic consumers

Josely Nunes-Villela - Filipe de Oliveira Rapozo - Maria de Lurdes Costa Domingos - Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas

REAPROVEITAMENTO DE DORMENTES DE MADEIRA DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS PARA A COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*

REUSE OF WOOD TIES FROM CARAJÁS RAILWAY FOR THE COGENERATION OF ELECTRICITY

Fábio Gorayeb Damasceno

Engenheiro sanitaria pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais pelo Programa de Mestrado Profissional do Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém (PA), Brasil.

Valente José Matlaba

Doutor em Economia pela University of Waikato (UoW). Pesquisador do ITV – Belém (PA), Brasil.

Jorge Filipe dos Santos

Doutor em Engenharia Geográfica pela Universidade de Coimbra (UC). Pesquisador Associado do (ITV) – Belém (PA), Brasil.

José Aroudo Mota

Doutor em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (UnB). Pesquisador Titular do ITV – Belém (PA), Brasil.

*Este artigo deriva da dissertação de mestrado profissional do primeiro autor defendida em 30 de maio 2015 no Instituto Tecnológico Vale (ITV). Os autores agradecem os comentários e sugestões do Prof. Dr. Paulo Antônio de Souza (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) e Prof. Dr. Gustavo Pessin (ITV) e dos pareceristas anônimos, mas não os responsabilizam por eventuais erros e omissões neste trabalho.

Endereço para correspondência:

Valente José Matlaba – Instituto Tecnológico Vale – Rua Boaventura da Silva, 955 – Umarizal – 66055-090 – Belém (PA), Brasil – E-mail: valente.matlaba@itv.org

Recebido: 23/11/2016

Aceito: 03/07/2017

RESUMO

O descarte de resíduos de dormentes de madeira tem importância ambiental e econômica. Todavia, os estudos específicos que testam e avaliam a sustentabilidade de alternativas de sua destinação adequada praticamente são inexistentes. Este artigo avaliou os aspectos ambientais e econômicos do coprocessamento dos dormentes de madeira com biomassa florestal para produzir eletricidade em unidade termelétrica. Os procedimentos consistiram em aplicação de testes em branco e de queima utilizando métodos recomendados por instituições e agências nacionais e internacionais. Nesses testes foram coletadas amostras dos gases emitidos pela chaminé e cinzas residuais utilizando apenas biomassa de origem florestal. O experimento de queima consistiu na mistura de biomassa com dormentes de madeira triturada na proporção de 1/5. As comparações mostraram que os parâmetros da dimensão ambiental obtidos estavam nos limites estabelecidos para emissões atmosféricas na legislação ambiental brasileira de incineração de resíduos, exceto para material particulado e das dioxinas e furanos. Se existir um controle eficiente de emissões gasosas, especialmente destas últimas, os resultados mostraram que o reaproveitamento energético da madeira é ambientalmente sustentável. Na dimensão econômica, considerando certas premissas, tais como a potência da termelétrica de 5 MW, a produção nominal de 43.800 MWh por ano e o consumo de biomassa em torno de 70 mil t anuais, a substituição da biomassa por 20% de dormentes reduz em 19,2% o custo total anual da matéria-prima utilizada no processo de geração.

Palavras-chave: resíduos de dormentes; geração de eletricidade; sustentabilidade.

ABSTRACT

The wood ties waste has environmental and economic importance. However, specific studies to test and evaluate sustainability of adequate destination alternatives for wood ties residuals basically do not exist. This article evaluates the environmental and economic aspects of co-processing of wood ties with forestry biomass to produce electricity in a thermoelectric plant. The procedures involved the application of blank and burn tests using methods recommended by national and international institutions and agencies. In the blank test, samples of emissions of gases from the chimney and residuals ashes using only forestry biomass were taken. The burn test consisted of mixing biomass with crushed wood ties chips in the ratio 1 to 5. Comparisons showed that the obtained values for the environmental parameters were within the permissible limit for the atmospheric emissions set by the Brazilian environmental law of waste incineration. Results show that with efficient control of gas emissions, especially for particulates, dioxins and furans, the energy generation process with reused wood is environmentally sustainable. In economic dimension, under certain assumptions such as thermoelectric power rating of 5 MW, nominal production of 43800 MWh per year and biomass consumption of about 70 thousands tons per year, the substitution of biomass by 20% of wood ties reduced in 19.2% the total annual cost of raw materials used in the generation process.

Keywords: wood ties waste; electricity generation; sustainability.

INTRODUÇÃO

A estrutura de uma via férrea necessita de uma sustentação dos trilhos de aço que garanta a absorção de impactos e trepidações inerentes ao transporte ferroviário. As peças transversais que fazem a sustentação da parte superior da estrutura de uma trilha férrea são chamadas dormentes, os quais amortecem os impactos e os transferem ao lastro e sublastro, conferindo segurança ao transporte de passageiros e cargas.

A utilização desse material em ferrovias se iniciou por volta de 1820, quando, pela primeira vez, foram substituídas pedras por travessas de madeira em estrada de ferro situada em Boston, Estados Unidos. A prática se tornou comum em todo o mundo devido à abundância da madeira. Todavia, ao longo do tempo as pressões por recursos naturais constituíram um alerta para a necessidade de ampliar a vida útil dos dormentes de madeira (ALVES, 2005). As pressões mundiais pela preservação do meio ambiente e a própria escassez dessa matéria-prima obrigam as empresas com operações ferroviárias a buscarem alternativas para esse material. As pesquisas apontam avanços significativos na fabricação de dormentes com polímeros (plástico rígido combinado com outros elementos) que evitam o corte de árvores e são provenientes de materiais recicláveis. Atualmente, existem opções de substituição da madeira por concreto, aço, plástico rígido e borracha (MANALO *et al.*, 2010; FERDOUS *et al.*, 2015). No entanto, no Brasil a produção com outros materiais ainda é insuficiente para atender à demanda anual de 1,5 milhão de unidades. Apesar disso, a utilização de aço e de concreto já tem ampla aplicação em ferrovias no Brasil (e.g., VALE e MRS). Nas classes das madeiras, o eucalipto é considerado inferior às árvores nobres, mas tem sido a solução para a fabricação de dormentes em larga escala por possuir a mesma vida útil e proporcionar ganhos ambientais pelo manejo sustentável (SALLES, 2009).

A primeira parte da literatura consultada sobre dormentes de ferrovias se refere a importância, características estruturais e físicas, especificações, formas de tratamento e materiais de fabricação. Foram estudadas particularidades técnicas e consultados especialistas que atuam na via permanente da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Analisaram-se ainda as vantagens e desvantagens dos materiais utilizados na fabricação de dormentes, tais como madeira, aço, concreto, borracha e plástico rígido (PACHA, 2003; SALLES, 2009; MANALO

et al., 2010; DAMASCENO, 2015). Para contextualizar a problemática da destinação de dormentes de madeira descartados como íntegros (peças fora de especificação) ou não íntegros (pedaços e lascas), é importante compreender o seu papel na linha férrea, assim como a origem da madeira e a forma de produção.

A segunda parte dos documentos examinados se refere especificamente aos possíveis reaproveitamentos das sucatas de dormentes. A produção desses a partir da madeira envolve o uso de produtos químicos tóxicos que não se degradam facilmente com o tempo (VIDAL *et al.*, 2015; MARCOTTE *et al.*, 2014). Tal aspecto limita bastante as possibilidades de reutilização dos dormentes rejeitados. Para ultrapassar essa limitação, Ferrarini *et al.* (2016) estudaram uma opção de descontaminação desse tipo de resíduo, no entanto não fazem uma análise da viabilidade econômica do processo. Vários autores consultados apontam que a queima controlada para geração de energia é uma opção viável (BROUWER *et al.*, 1995; FALK; MCKEEVER, 2004; GENOVESE *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2014; HELSEN *et al.*, 1998; HERY, 2004; RENDEIRO *et al.*, 2008; TASKHIRI *et al.*, 2016; RAMOS *et al.*, 2017). Brouwer *et al.* (1995) estudaram o problema da queima desse tipo de resíduo com carvão e constataram a dificuldade no controle de emissão de gases nocivos. Todavia, apresentaram vantagens desse processo: baixos custos operacionais, de manutenção e ambientais. Falk e McKeever (2004) abordam o problema da destinação da madeira descartada nos Estados Unidos apontando como um passivo ambiental a forma tratada do dejetivo, como é o caso dos dormentes. Ramos *et al.* (2017), considerando a Região Amazônica, analisam o processo de industrialização da madeira em geral e a gestão dos resíduos causados por estas indústrias indicando geração de detritos e problemas ambientais e sociais nos casos de aproveitamento e descarte inadequados. Genovese *et al.* (2006) e Rendeiro *et al.* (2008) reforçam essa preocupação para outras regiões e mostram que o reaproveitamento energético é o tratamento mais adequado, desde que exista controle de emissões gasosas. Gomes *et al.* (2014) consideram também a viabilidade econômica do sistema silvipastoril como alternativa energética em comunidades assentadas pela reforma agrária. Entretanto, nenhum desses estudos realizou experimento com dormentes de madeira visando avaliar simultaneamente as dimensões ambiental e econômica.

Helsen *et al.* (1998), no experimento laboratorial, apresentaram um sistema no qual a temperatura de pirólise e a duração do seu processo influenciam na liberação de metais e na redução da massa, e o resultado obtido com o uso desse sistema é que o resíduo é menor que 3% do total da massa inicial de madeira. Hery (2004) descreve um sistema de reciclagem de restos de madeira capaz de operar com qualquer resíduo desse tipo, independentemente da toxicidade e da concentração de contaminante da madeira, e aponta que o sistema pode reciclar madeira contaminada com diferentes tóxicos simultaneamente.

Outra opção de reuso apontada por Ashori *et al.* (2012) passa pela utilização desse material triturado em uma mistura com concreto para servir de matéria-prima para a construção. Apesar das boas características físicas do que foi obtido, recomenda-se cuidado com o seu uso devido aos produtos químicos presentes nos dormentes. Mais uma vez, não é realizado qualquer estudo de viabilidade econômica.

De outro lado, Taskhiri *et al.* (2016), focando uma região da Alemanha, analisam a sustentabilidade logística e ambiental do processo de produção e armazenamento da madeira e seus resíduos. Apontam que embora os custos totais da rede logística considerada não mudem significativamente para os resíduos em comparação com a madeira fresca, o uso dos resíduos na mesma rede logística reduz substancialmente as emissões de dióxido de carbono.

Atualmente, ainda há poucas alternativas para tratamento e disposição adequada de dormentes de madeira. Esse fato se deve à presença na sua composição de substâncias químicas preservantes, tais como o pentaclorofenol, sais de cromo, cobre e arsênio (CCA) ou boro (CCB) e creosoto. Dependendo da concentração, as reações com outras substâncias e organismos podem transferir contaminantes para o meio ambiente (GENOVESE *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2006, 2014; HELSEN *et al.*, 1998; HERY, 2004; RENDEIRO *et al.*, 2008; SALLES, 2009; FERRARINI *et al.*, 2016).

A EFC, com seus 892 km, liga as minas da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, com o porto em São Luís, no Maranhão. Para cobrir essa extensão, são necessários 1,65 milhão de dormentes. Esses materiais têm de ser substituídos quando atingem o seu tempo de vida, gerando uma grande quantidade de produto descartado. As sucatas de dormentes ficam às margens da linha férrea, amontoadas em pilhas, sem prazo definido para o seu recolhimento e entrega na Central de Materiais Descartados (CMD). Esses detritos contêm substâncias químicas nocivas e tendem a aumentar a ocorrência de incêndios ao longo da ferrovia, principalmente no período de estiagem, de agosto a outubro, quando as temperaturas são mais altas e a umidade relativa do ar é baixa.

O presente estudo contribui para a ainda incipiente literatura científica sobre a viabilidade econômica e ambiental do uso de dormentes na cogeração de energia elétrica (NOGUEIRA, 1995; KAMISAKI *et al.*, 2006; JAPH SERVIÇOS ANALÍTICOS; RECICARBON INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA., 2013; CORRÊA NETO, 2001). Procura-se, assim, uma solução para um problema ambiental decorrente da destinação dos dormentes de madeira descartados, sem se esquecer da questão econômica. Além de reduzir os riscos de ocorrências ambientais e de emissões de gases de efeito estufa (GEE), pode ainda ser gerado valor para esses resíduos. O tópico 2 deste artigo apresenta os materiais e métodos. Após fazer uma revisão dos conceitos principais e finalidades dos dormentes, detalha os procedimentos adotados para a realização dos testes. Finalmente, os tópicos 3 e 4 apresentam os resultados, a discussão e as conclusões, enfatizando que o reaproveitamento energético da madeira é sustentável do ponto de vista econômico e ambiental desde que haja um controle eficiente de emissões gasosas, principalmente de material particulado e dioxinas e furanos. Por conseguinte, os objetivos deste artigo foram testar e avaliar os aspectos ambientais e econômicos do coprocessamento dos dormentes com biomassa florestal para a cogeração de energia elétrica em termelétrica da EFC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Características dos dormentes

O dormente é o elemento da superestrutura de uma ferrovia com a função de receber e distribuir ao lastro

os esforços gerados pelo tráfego dos veículos ferroviários. A superestrutura compreende lastro, dormentes,

trilhos e acessórios. Tem a finalidade de manter a exata geometria entre os trilhos (afastamento, inclinação, nivelamento longitudinal e transversal) e transmitir os esforços para a infraestrutura sem apresentar deformações, garantindo, assim, a segurança do transporte ferroviário. Serve de suporte aos trilhos, permite a sua fixação e mantém a bitola (distância constante entre os trilhos) invariável (BRINA, 1988; PACHA, 2003). O seu perfeito estado de conservação propicia a consistência da linha, mantendo as condições de segurança do tráfego. A substituição adequada dos dormentes não íntegros contribui significativamente para a excelência da via permanente.

Esses elementos têm vida útil de 20 anos (SALLES, 2009). Entretanto, as condições operacionais e climáticas extremas podem acelerar a sua degradação. Na EFC, algumas peças deterioram na metade deste tempo, o que requer aumento gradativo da substituição. Dois fatores contribuem diretamente para a rápida degradação dos dormentes: primeiro, a espécie da madeira, a qual agrega todas as características inerentes à matéria-prima, tais como idade da árvore, dureza, densidade e resistência ao fendilhamento; segundo, a qualidade do dormente produzido no tocante à presença de defeitos, à saturação das fibras (umidade) e à retenção de substância preservativa.

Para cumprir sua função na superestrutura, os dormentes precisam suportar a ação mecânica provocada por esforços das composições, bem como a ação do intemperismo e seus agentes físicos, químicos e mecânicos (e.g., radiações solares, altas temperaturas, acidez do solo e lixiviação). Eles também podem ser serrados na forma de um paralelepípedo retangu-

lar e suas dimensões são em função da bitola da linha férrea. São travessas de conformação, geralmente de formato prismático, assentadas transversalmente aos trilhos sobre o lastro e espaçadas regularmente uma da outra (Figura 1); no caso da EFC, são 1.851 peças km^{-1} e o peso por unidade é aproximadamente 125 kg.

Em todo o mundo, os dormentes fabricados de madeira são os mais usados nas ferrovias, principalmente pelas qualidades naturais. São muito mais resistentes e elásticos do que os demais materiais e cumprem as funções requeridas para a ferrovia. No Brasil, os primeiros dormentes de madeira foram usados na Estrada de Ferro Madeira-Mamoré, em 1907 (VIDAL *et al.*, 2015). Dava-se a preferência aos dormentes de essências nobres, como maçaranduba, aroeira, ipê e jacarandá.

No início da construção da EFC, em 1985, utilizaram-se árvores nativas (madeiras nobres) da Floresta Amazônica, tais como o Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e o Angelim Vermelho (*Dinizia excelsia*) para sua confecção. Atualmente, com a legislação ambiental mais restritiva e a escassez dessas espécies florestais, tem sido aceito para produção de dormentes o eucalipto das espécies *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus tereticornis*. Estas espécies são consideradas madeiras mais moles e requerem tratamento à base de óleo ou produto químico para preservar a estrutura morfológica da madeira contra a ação de micro-organismos e insetos decompositores. Tal cuidado garante a resposta mecânica requerida para o transporte de carga na ferrovia.

A substância química utilizada como preservativo de madeira é tóxica e, dependendo da concentração, in-

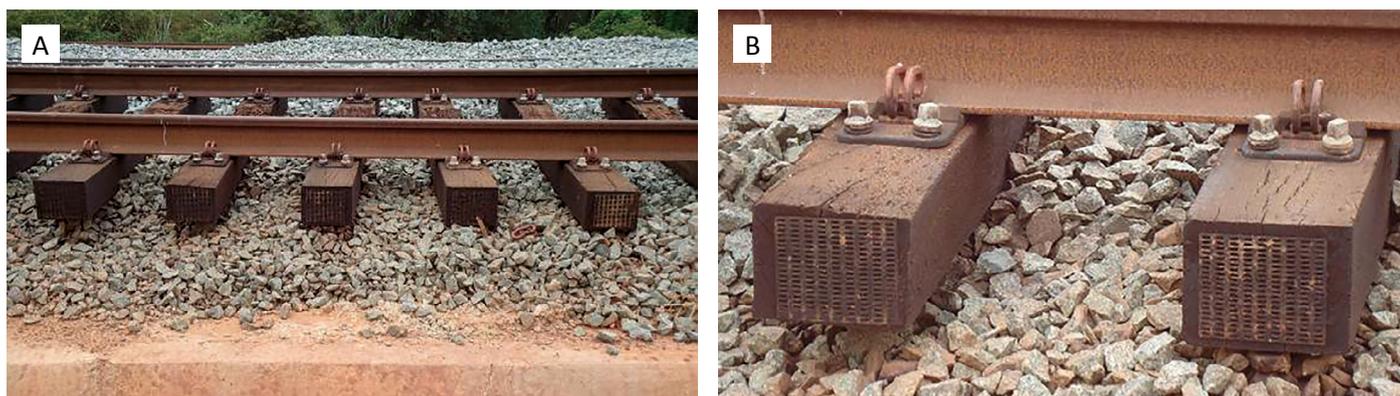


Figura 1 – Dormentes de madeira da Estrada de Ferro Carajás: (A) Superestrutura: lastro, dormentes, trilhos e acessórios; (B) dormentes em detalhe.

fluencia negativamente os indicadores ambientais de toxicidade humana, principalmente quando os dormentes são queimados em combustão incompleta (BECKER *et al.*, 2001; ALVES, 2005; THIERFELDER; SANDSTRÖM, 2008; MAGALHÃES *et al.*, 2012; MARCOTTE *et al.*, 2014). O produto preservativo deve ser aplicado em todas as faces do dormente durante o período de secagem, até atingir o teor de umidade adequado para tratamento (em torno do ponto de saturação das fibras), deve conter fungicida e inseticida de ação temporária e não deve afetar a integridade da travessa. A secagem é na sombra ao ar livre e deve ocorrer até que atinja o teor de umidade menor ou igual à do ponto de saturação das fibras da madeira para

permitir adequada penetração e retenção do produto preservativo (VALE S.A., 2009).

Do ponto de vista ambiental, o resíduo de madeira tratada com preservantes é considerado perigoso na Europa e restrito para uso doméstico nos Estados Unidos devido à toxicidade conferida a micro-organismos do solo e, dependendo da concentração, para a saúde de animais e seres humanos (DAMASCENO, 2015). Na ausência de uma legislação ambiental específica para queima de dormentes, neste estudo de caso utilizou-se a Resolução nº 316/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pois estabelece limites de poluentes no ar para a queima de resíduos sólidos (perigosos ou não) em fonte fixa.

Descrição do processo de geração de energia elétrica da Unidade Termelétrica (UTE)

A usina de produção de energia elétrica opera com ciclo de *Rankine* convencional, por meio da utilização de uma caldeira alimentada por biomassa e carvão vegetal que gera e reaquece o vapor. O referido ciclo é um modelo usado para avaliar motores a vapor que convertem calor em trabalho mecânico, os quais são largamente usados no mundo inteiro para a geração de energia elétrica (KAPOORIA *et al.*, 2008). A planta está equipada com tratadores de gases a jusante da caldeira, do tipo multiciclone, para redução das emissões de material particulado.

O conjunto gerador de gás quente é formado por um queimador de biomassa de grelha rotativa, caldeira e exaustão. Todo o sistema está equipado com painéis eletrônicos de monitoramento das condições e parâmetros operacionais. A unidade geradora de energia, com potência elétrica de 5 MW, tem capacidade nomi-

nal de fornecer energia de 3 GW por mês. É composta por uma caldeira à biomassa que produz 28 t por hora de vapor e 90% de eficiência térmica, uma turbina e um gerador.

A alimentação da mistura de madeira é feita de forma automática pelo silo de acordo com a necessidade. É queimada na fornalha da caldeira e os gases gerados no processo de combustão são encaminhados para o recuperador de calor. Este último é composto por um trocador de calor que recupera a energia e aquece o ar primário. Após esse processo, o efluente gasoso passa por um multiciclone para o abatimento do material particulado, o qual é coletado e encaminhado, por gravidade, para caçambas instaladas na parte inferior do multiciclone. Após eliminação do material particulado, o efluente gasoso é encaminhado para a chaminé.

Procedimentos

O método escolhido foi baseado no teste de queima de biomassa florestal com dormentes em três etapas. Na primeira, realizou-se o teste em branco (somente com biomassa de origem florestal usada na Unidade Termelétrica (UTE) para produzir energia elétrica) e coleta das cinzas resultantes. Durante a segunda, fez-se o teste de queima de biomassa florestal com resíduos de dormentes de madeira da EFC misturados na proporção de 1/5 e foram coletadas as cinzas. Os parâmetros de ambos os testes foram analisados à luz da legislação ambiental brasileira (Resolução

nº 316/2002 do CONAMA) sobre emissões atmosféricas de fontes potencialmente poluidoras. A referida resolução descreve a incineração de resíduos e a respectiva aferição das emissões gasosas e das cinzas residuais (Estudo de Viabilidade de Queima – EVQ), sendo este o método mais rigoroso para a avaliação do tratamento térmico de detritos existente na legislação brasileira. A terceira etapa consistiu na análise qualitativa das cinzas de ambos os testes para classificá-las como resíduo perigoso ou não perigoso, de acordo com a Norma Técnica Brasileira

(NBR) para caracterização de restos (NBR 10.004; 10.006 e 10.007:2004). Entre os procedimentos de amostragem apontados pela Resolução nº 316/2002, foram utilizados os métodos para análise das emissões atmosféricas da Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo — CETESB (2003) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY — USEPA, 2007), a partir do monitoramento dos gases na chaminé da UTE.

Esses processos foram baseados nas seguintes premissas: a geração de energia elétrica é conseguida por meio da produção de calor a partir da queima de biomassa florestal na UTE; a quantidade anual de dormentes de madeira descartados pela EFC responde somente por cerca de 12% do total anual de matéria-prima (biomassa) necessária; e, nas condições do teste, só houve disponibilidade logística para entregar 1/5 da quantidade diária necessária para a produção nominal de energia elétrica.

Uma limitação encontrada no experimento foi a impossibilidade de identificar e separar dormentes tratados com creosoto dos tratados com composto químico de CCA, após descarte como resíduo, visto que a área operacional responsável dispõe apenas de verificação visual para fazer essa distinção. Assim, assume-se que todos os dormentes, independentemente do tratamento preservativo da madeira, serão triturados e coprocessados de forma homogênea para uso como combustível na caldeira.

A realização de cada teste envolveu três atividades: preparação do teste, monitoramento e elaboração do relatório. Abaixo são apresentados os métodos e as substâncias de coleta e análise adotados na realização de ambos os testes:

- Efluentes gasosos: foram aplicados os métodos estabelecidos pela Environmental Protection Agency (EPA), a saber: métodos 1 a 8, 0010, 13B, 23, 26A, 29, 101^a e 429 (USEPA, 2007);
- Material particulado (MP): essa substância foi coletada isocineticamente. A sua massa foi determinada gravimetricamente. Simultaneamente à coleta, determinou-se o volume do gás amostrado e obteve-se a concentração de MP pelo rácio entre as duas variáveis;
- Óxidos de enxofre (SOx): para a determinação da concentração dessas substâncias fez-se absorção do SO₃ em solução de álcool isopropílico e reação do SO₂ com peróxido de hidrogênio. A determinação da concentração de SOx nas soluções absorvedoras foi realizada por meio de titulação;
- Óxidos de nitrogênio: os óxidos presentes no fluxo gasoso foram coletados em um frasco de absorção contendo ácido sulfúrico diluído e peróxido de hidrogênio. Estas substâncias foram determinadas por colorimetria, utilizando o método do ácido fendissulfônico;
- Metais: as análises da concentração destes elementos nas amostras de efluentes gasosos foram realizadas pelo método EPA 29, utilizando-se absorção atômica. Os metais analisados foram: Cd, Hg, Tl, As, Co, Ni, Te, Se, Sb, Pb, Cr, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh, V. As análises de mercúrio foram realizadas com base na metodologia EPA 101A. Dioxinas e furanos e principais compostos orgânicos perigosos (PCOPs). O procedimento adotado para a amostragem de dioxinas e furanos (D/F) em fontes estacionárias está descrito no método EPA 23 (USEPA, 2007). Os compostos orgânicos semivoláteis (SVOCs) são poliaromáticos, incluindo o benzo-pireno (PAHs) e o pentaclorofenol. Os efluentes gasosos foram coletados isocineticamente, utilizando-se cartucho de resina XAD-2 como material adsorvente. Após a amostragem, a resina empregada na coleta, bem como o filtro de amostragem e soluções de lavagem de sonda e vidraria (acetona, cloreto de metila e tolueno), foi extraída com diclorometano. O extrato foi analisado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa de alta resolução (CG/EM), com base nos métodos EPA 8290 e 8270 da referida fonte;
- Compostos orgânicos voláteis (VOCs – *Volatile Organic Compounds*): para estas substâncias aplicou-se o método US EPA 0030. Os gases passam por um trem de amostragem (VOST – *Volatile Organic Sampling Train*) com dois tubos de resinas. O primeiro tubo foi preenchido com resina Tenax e o segundo, além dessa, com carvão ativado. Os compostos orgânicos voláteis, neste caso específico o benzeno, tolueno e xileno (BTX), foram adsorvidos na resina e posteriormente analisados quimicamente por CG/MS. Cada coleta durou

60 minutos, sendo que a cada 20 minutos ocorreu a troca dos pares de resinas, conforme os métodos US EPA 5041A e 8260B. Cada coleta de VOC foi realizada com 3 jogos de *traps* de resina por coleta com duração de 60 minutos;

Testes e amostras

Os métodos de amostragem utilizados para coletas e análises de gases em fontes fixas, como a chaminé da UTE, são estabelecidos pela EPA (USEPA, 2007). Todas as coletas, exceto de NO_x, foram realizadas de forma isocinética, a qual garante que a velocidade de entrada dos gases e partículas na boquilha de coleta seja a mesma do fluxo gasoso. Este procedimento permitiu a representatividade das amostras para a determinação da concentração e da quantidade de poluentes emitidos, tais como gases e material particulado. As coletas isocinéticas foram realizadas utilizando um equipamento chamado “trem de amostragem”.

O trem de amostragem padrão é composto por uma sonda de coleta, um filtro aquecido, um conjunto de borbulhadores e um gasômetro, para a medição do gás seco coletado. Para este experimento utilizou-se o modelo básico descrito no método EPA 5 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, s/d). Os gases são coletados diretamente da chaminé por meio de uma sonda aquecida, que evita a condensação dos mesmos e possui uma boquilha na sua ponta por onde os gases são coletados. A sonda encaminha os gases e as partículas para um filtro de quartzo, aquecido a 120°C, que retém todos os fragmentos no filtro. Em se-

- Análise de cinzas: foi realizada uma análise composta para a caracterização das cinzas em resíduo perigoso ou não perigoso, conforme os métodos de Classificação de Resíduos Sólidos NBR-10004, 10005 e 10006 (ABNT, 2004).

guida, os gases são enviados para a sequência de borbulhadores com soluções para absorção de poluentes como SO_x, HCl, HF, metais, etc.

São necessárias resinas específicas para a coleta de poluentes como dioxinas e furanos. Foram utilizados cartuchos com resinas que são posicionados antes dos borbulhadores para a adsorção desses poluentes. As amostras coletadas foram encaminhadas para laboratórios especializados e acreditados pela norma ISO 17.025.

As análises destas coletas foram realizadas em um laboratório independente. Também foram coletados os VOCs e dioxinas e furanos com análises feitas em outro laboratório independente. A estratégia de coleta de cada parâmetro foi determinada pelas condições operacionais da caldeira (Tabela 1). Para evitar contaminação das amostras entre os testes, foi estabelecido um intervalo de 12 horas entre as medições com biomassa e com dormentes (mistura).

Como referido, a primeira atividade em cada teste consistiu em preparação das amostragens. Detalhou-se o planejamento dos testes e descreveram-se as amostras, bem como os respectivos métodos e equipamentos utilizados.

Tabela 1 – Coleta de compostos orgânicos voláteis e dioxinas e furanos.

Parâmetros	Duração (minutos)
MP e SO _x	60
MP e SO _x	60
HCl e HF	60
PCDD, PCDF e SVOC (pentaclorofenol)	180
NO _x	Instantâneo
VOC	60 min: 20 minutos/cartucho
Cianetos	60
Metais (classes I, II e III)	60

Fonte: Relatório do teste de queima de dormentes na UTE (ERM BRASIL; VALE S.A., 2013).

Testes em branco

Os testes foram efetuados durante a operação normal da UTE e utilizaram somente biomassa de casca de eucalipto, tendo sido feita uma avaliação das emissões gasosas na chaminé. Dependendo da umidade, a operação da UTE mistura 1/4 de carvão vegetal à biomassa. Esta operação não foi necessária durante o teste em branco.

Estes testes consistiram em três coletas de amostras das seguintes substâncias:

- dioxinas e furanos (D/F) e PCOPs e PAHs;
- MP e SO_x;

Testes de queima com dormentes

Foram realizados testes com a queima da mistura de biomassa com dormentes na proporção 1/5, tendo sido adotada a mesma metodologia do teste em branco para avaliar os níveis das substâncias. Fi-

Análise das cinzas

O teste de queima seguiu estritamente as normas vigentes com o objetivo de quantificar as emissões geradas durante a queima de biomassa e dormentes na caldeira para posterior avaliação da sua viabilidade.

Nesta fase, realizaram-se testes com queima de dormentes sem a utilização de carvão vegetal na propor-

- NO_x;
- metais (classes I, II e III);
- mercúrio (Hg);
- ácido clorídrico (HCl), cloro (Cl₂) e ácido fluorídrico (HF);
- VOCs, com análise da concentração de benzeno, tolueno e xilenos (BTX);
- concentrações de O₂, CO₂, CO e excesso de ar com um monitor eletrônico Tempest.

zeram-se três coletas de todas as substâncias listadas acima nos testes em branco, e nove no caso de NO_x. Todas as amostras foram analisadas por um laboratório independente.

ção de 1/5 de dormentes picados. As cinzas foram coletadas na grelha da caldeira e na saída do multiciclone após cada um dos testes. As análises foram efetuadas conforme as normas NBR 10.004; 10.006; 10.007:2004 (ABNT, 2004) por um laboratório independente visando classificar as cinzas em perigosas ou não perigosas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão de acordo com o tipo de combustível utilizado conforme os testes e a condição operacional de queima, como descrito, apresentando temperatura, umidade e velocidade médias dos gases no duto e análise dos gases de combustão (DAMASCENO, 2015). A avaliação do resultado do experimento na UTE considerou os aspectos ambiental e econômico. A avaliação do resultado do experimento na UTE considerou os aspectos ambiental e econômico.

Na dimensão ambiental, foram comparados os resultados das amostras coletadas na UTE, com o resultado do mesmo teste realizado em outra empresa, que designaremos por empresa X, cujo processo utiliza

somente dormentes de madeira para carbonização (Quadro 1). Estes resultados foram comparados ao valor máximo permitido (VMP) pela Resolução nº 316/2002.

Os resultados mostram a instabilidade do sistema de controle operacional de queima de combustível na UTE para material particulado. O número de três amostras por parâmetro e, no caso do NO_x, nove, foi limitado pelo orçamento disponível para o experimento. Abaixo são apresentados os resultados dos testes de queima na UTE e na empresa X à luz do VMP estabelecido pela Resolução nº 316/2002. O experimento feito na empresa X, apesar de analisar os efeitos da queima somente de dormentes, é o único comparável

ao presente estudo, pois considerou quase os mesmos parâmetros. O presente experimento não anali-

Metais

Conforme a Resolução nº 316/2002, as concentrações de metais foram agrupadas em três diferentes classes: a classe I é composta por metais como cádmio, mercúrio e tálio; a classe II, por arsênio, cobalto, níquel, telúrio e selênio; e a classe III envolve antimônio, chumbo, cromo, cobre, estanho, manganês, platina, ródio e vanádio.

Os parâmetros dos metais da classe I variaram entre 60 e 90% daqueles obtidos pelo experimento na em-

presas X e estiveram somente entre cerca de 0,9 e 1,3% do VMP. Para os metais da classe II, embora no teste somente com biomassa o experimento tenha apresentado um valor do parâmetro de cerca de 6,4% daquele obtido pela empresa X, no teste com a mistura chegou a alcançar 121,4%, indicando melhor desempenho do sistema daquela empresa nestas substâncias em relação ao teste com mistura. O resultado da queima da mistura está na origem do aumento das concentrações de arsênio e níquel. Entretanto, mesmo nesse caso

Quadro 1 – Resultados: média e desvio-padrão do estudo da viabilidade da queima na unidade termelétrica, média na empresa X e valor máximo permitido*.

Viabilidade ambiental					
EVQ		UTE		Empresa X	CONAMA nº 316/2002
Parâmetro	Unidade	Somente biomassa	Dormente + biomassa (1/5)	Somente dormente	VMP*
Material particulado	mg Nm ⁻³	960,06 ± 94	778,38 ± 149	19,50	70,00
Óxidos de enxofre	mg Nm ⁻³	7,65 ± 5	1,98 ± 0,6	38,70	280,00
Óxidos de nitrogênio	mg Nm ⁻³	129,34 ± 45	145,80 ± 20	199,90	560,00
Metais classe I: Cd, Hg, Tl	mg Nm ⁻³	0,003 ± 0,0001	0,003 ± 0,0006	0,004	0,280
Metais classe II: As, Co, Ni, Se, Te	mg Nm ⁻³	0,01 ± 0,001	0,16 ± 0,01	0,14	1,40
Metais classe III: Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rh, V, Sn	mg Nm ⁻³	0,65 ± 0,01	0,77 ± 0,02	0,45	7,00
Ácido clorídrico	mg Nm ⁻³	18,38 ± 6	15,98 ± 0,3	0,06	80,00
Ácido fluorídrico	mg Nm ⁻³	0,36 ± 0,05	0,28 ± 0,02	0,20	5,00
Dioxinas e Furanos	Total PCDD + PCDF ng Nm ⁻³	0,24 ± 0,18	0,52 ± 0,19	0,075	0,50
Cloro	Kg h ⁻¹	0,13 ± 0,03	0,11 ± 0,01	----	1,80
Monóxido de carbono	ppm Nm ⁻³	----	----	84,20	100,00

*VMP: valor máximo permitido pela Resolução nº 316/2002 do CONAMA; EVQ: estudo da viabilidade da queima; UTE: unidade termelétrica. Fonte: Relatórios de Teste de Queima (ERM BRASIL; VALE S.A., 2013; JAPH SERVIÇOS ANALÍTICOS; RECICARBON INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA., 2013).

tais parâmetros foram de até 12,1% do estabelecido pela resolução.

Os parâmetros dos metais da classe III eram entre 142,2 e 175,6% superiores aos da empresa X. Entretanto, o VMP da legislação é, pelo menos, quase nove vezes su-

Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio

As concentrações médias destes elementos químicos foram corrigidas a 7% de oxigênio para as duas situações monitoradas pelo teste de queima e apresentaram resultado abaixo do limite de emissão estipulado pela Resolução nº 316/2002. Os resultados de óxido de enxofre estiveram entre 3,6 e 32,7% daqueles obtidos pela empresa X, sendo que o valor máximo permitido de 280 mg Nm⁻³ é, pelo menos, sete vezes superior aos obtidos nestes

Halogênios

Todos os elementos deste grupo têm a tendência de receber elétrons de outros elementos e formar íons de haletos, constituindo moléculas diatômicas. Também reagem diretamente com a maior parte dos metais especialmente com o hidrogênio formando haletos. Como nos metais, os resultados das concentrações de halogênios, tais como ácido clorídrico, cloro livre e ácido fluorídrico ficaram abaixo do limite de emissão estabelecido pela Resolução nº 316/2002.

Os agrupamentos de ácido clorídrico (HCl) no experimento da empresa X foram praticamente nulos, ficando entre cerca de 0,4 e 0,5% daquelas observadas

Material particulado

Os resultados do monitoramento de emissões atmosféricas neste experimento evidenciaram que as concentrações de MP (Figura 2), as quais eram equivalentes independentemente do insumo energético utilizado, e pelo menos aproximadamente nove vezes superiores ao VMP da referida resolução. Nota-se que as condições operacionais durante o

Dioxinas e furanos

Os resultados destes elementos químicos no experimento superaram o estabelecido pela resolução no teste de queima, tendo variado somente de 12 a 142% em

perior aos valores do experimento da empresa X e de ambos os testes. Nestes últimos, estes metais apresentaram os mesmos níveis de concentração, evidenciando que não existem alterações significativas nas emissões, exceto pela presença de dormentes tratados com CCA que elevaram a concentração de arsênio.

estudos. Os resultados do óxido de nitrogênio variaram entre 42,2 e 87,2% daquele referente à empresa X, demonstrando que a substituição de 20% de biomassa por madeira de dormentes não altera de forma significativa as emissões atmosféricas do processo avaliado. O limite estabelecido pela referida resolução é, no mínimo, aproximadamente o triplo dos valores destes elementos nos experimentos de ambos os estudos.

nopresente experimento. O limite de emissões de 80 mg Nm⁻³ estabelecido para este elemento é, pelo menos, quase cinco vezes os valores obtidos neste trabalho. Os resultados sobre o ácido fluorídrico (HF) no presente estudo ficaram entre 130 e 205% daqueles do experimento na empresa X. O VMP de 5,00 mg Nm⁻³ estabelecido pela referida resolução é, pelo menos, 12 vezes superior aos valores obtidos nestes estudos.

Neste exame, os valores das emissões de cloro variaram entre 5,6 e 8,9% do valor limite de 1,80 kg h⁻¹ estabelecido pela referida resolução, tendo apresentado concentrações equivalentes e da mesma ordem de grandeza.

teste de queima eram instáveis e a remoção de cinzas da fornalha se deu pelo processo de sopragem, o qual arrastou grande quantidade dessas substâncias para a chaminé. Somente a experiência da empresa X apresentou resultados de acordo com a legislação, com emissões equivalentes a aproximadamente 28% do VMP.

relação ao VMP considerando todos os ensaios. Como estas substâncias variam com a queima da mistura da biomassa com dormentes, a realização de outras expe-

riências com diferentes percentuais de dormentes seria importante. De outro lado, o experimento na empresa

Pentaclorofenol

Em nenhuma das amostras foi detectada a presença deste elemento, o PCOP, utilizado no tratamento da

Cinzas

A caracterização das cinzas geradas no processo de queima em ambos os testes deste experimento as classificou como classe I (resíduos perigosos). Portanto, as cinzas da queima na caldeira deverão ser encaminhadas para um aterro específico de disposição de resíduos perigosos.

O estudo visou avaliar também a viabilidade econômica que está associada à substituição do percentual de biomassa florestal por dormentes, considerando dados informados pelo fabricante dos equipamentos da UTE (DAMASCENO, 2015), a potência da UTE de 5 MW, a produção nominal de 43.800 MWh por ano e o consumo de biomassa em torno de 70 mil t por ano. Com base nessas informações e considerando o preço da energia elétrica de termelétricas de R\$ 209,00 por MWh (Leilão nº 6/2014 A-5, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2014; BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2014), foram calculados a receita anual, o lucro bruto associado, a economia associada à biomassa e o percentual da margem de lucro associada à mistura de *chips* de dormentes com a biomassa (ver memória de cálculo no Quadro 2).

X resultou em somente 15% do VMP ilustrando, neste aspecto, um melhor processo de produção de energia.

madeira de dormentes. Neste exame, todos os resultados foram inferiores ao limite de detecção de 0,5 µg.

O custo estimado da matéria-prima em uma UTE é 60% do preço da energia (NOGUEIRA, 1995). Neste estudo de caso foi de R\$ 21,00 por t, que envolve as etapas de corte, carregamento e transporte. O custo total estimado para somente biomassa (cavaco de eucalipto) é de R\$ 1,47 milhão por ano. Considerando que a disponibilidade de dormentes é de 16% do total de biomassa requerida para o consumo anual, mesmo assim a inoculação de 20% de dormentes misturados à biomassa reduziria o gasto, gerando uma economia de R\$ 282 mil por ano para a UTE, o que representa uma margem de lucro de 19,2%. O custo de destinação dessas peças para um aterro industrial ou para incineração era de R\$ 1.012,89 por t em 2013 (VALE S.A., 2013). O gasto anual seria de R\$ 11 milhões para incinerar 11.000 t de dormentes inservíveis até 2018. O reaproveitamento energético dos dormentes processados com biomassa em UTE para a cogeração de energia elimina essa despesa com destinação e agrega valor ao resíduo, gerando ganhos financeiros de R\$ 14 mil e R\$ 282 mil por ano, respectivamente.

A margem de lucro associada à mistura de dormentes com biomassa na UTE poderá ser aplicada como investimento na melhoria do sistema de controle ambiental



Figura 2 – Emissão de material particulado e de gases para a atmosfera durante o teste de queima com dormentes.

das emissões atmosféricas. O dimensionamento adequado dos dispositivos de tratamento necessários para reduzir MP, PCDD e PCDF tem custo estimado entre R\$ 300 e R\$ 800 mil.

Como referido, os estudos sobre os efeitos ambientais e econômicos do reaproveitamento de dormentes para a produção de energia elétrica são escassos. No experimento com queima de dormentes de madeira com carvão visando analisar as emissões, Brouwer *et al.* (1995) concluíram que a queima com até 20% de resíduos de madeira não aumenta os níveis de poluição e reduz a emissão de nitrogênio em cerca de 30%. Tendo em vista que o percentual de madeira é idêntico ao dos dormentes triturados na experiência do presente artigo, na dimensão ambiental esse resultado é parcialmente

consistente. Todavia, o estudo não analisa a grandeza econômica e, portanto, não comparável nesse aspecto. Consistente com o presente experimento, Genovese *et al.* (2006) confirmaram viabilidade econômica da produção de eletricidade em cogeração com biomassa. Entretanto, o estudo não permite comparação direta dos parâmetros analisados porque os autores fizeram o levantamento bibliográfico de diversas fontes de energia. Do mesmo modo, Gomes *et al.* (2014) apresentam resultados da simulação de utilização de metade da área de pastagem para a produção de biomassa florestal para a cogeração de energia elétrica. Embora destaque o caráter preliminar dos seus resultados, as experimentações de campo efetuadas ilustraram que os custos de produção de energia são menores, demons-

Quadro 2 – Análise da viabilidade econômica no reaproveitamento de dormentes da Estrada de Ferro Carajás.

Viabilidade econômica				
Variável	Unidade	Somente biomassa	Dormentes + Biomassa	Memória de cálculo/Fonte
Potência UTE ¹	MW	5,0		Fonte: Icavi (fabricante)
Produção nominal	MWh ano ⁻¹	43.800		Fonte: UTE Cosima
Fator parada para manutenção	%	7,0		Fonte: Rendeiro <i>et al.</i> , 2008
Produção efetiva	MWh ano ⁻¹	~40.800		D=b*c
Consumo de biomassa ²	t ano ⁻¹	70.080	14.016	Fonte: UTE Cosima
Preço médio	R\$ t ⁻¹	~21,00	0,88	f=g/6, preço médio contrato de venda
Custo médio MWh ⁻³	R\$ MWh ⁻¹	~125,00	5,25	g=60% i (biom) g=f*6 (dorm)
Custo médio anual	R\$ ano ⁻¹	1.471.680,00	1.189.678,00	$h_1=e*f$ $h_2=(e*0,8*f_1)+(e*0,2*f_2)$
Preço energia UTE à biomassa ⁴	R\$ MWh ⁻¹	209,00		Edital Leilão 06 ANEEL, 2014.
Receita média anual	R\$ ano ⁻¹	8.527.200,00		j=d*i
Lucro bruto	R\$ ano ⁻¹	7.055.520,00	7.337.522,00	k=j-h
Economia de custo	R\$ ano ⁻¹	----	282.002,00	l=k ₂ -k ₁
Margem de lucro	%	----	19,17	m=l/h ₁ *100

¹Dados fornecidos pelo fabricante (DAMASCENO, 2015, p. 40); ²Consumo específico de vapor na turbina=5 kg kWh⁻¹ (DAMASCENO, 2015, p. 56); ³Incidência da biomassa sobre o preço da energia em MWh=60% (NOGUEIRA, 1995); ⁴Editais dos leilões de energia de biomassa (ANEEL, 2014); UTE: unidade termelétrica; ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

trando viabilidade econômica neste estudo de caso e no experimento deste artigo.

O problema de emissão de material particulado constatado neste ensaio também é apontado em outros estudos. Torres Filho (2005) analisou a viabilidade técnica e ambiental do uso de resíduo de madeira para a produção de energia. Este autor obteve uma emissão de material particulado de 4,57, 2,77 e 1,73 (em g/kg) com o forno utilizando lenha, cavaco sem tratamento

térmico e processado termicamente, respectivamente. Entretanto, tais resultados não são comparáveis com os do presente experimento e da empresa X. Estes dois últimos estudos foram baseados na legislação recomendada para emissões de material particulado e outras substâncias nesse tipo de teste, Resolução nº 382/2002 do CONAMA, a qual apresenta a unidade das substâncias em mg Nm⁻³. Aquele estudo não analisa as implicações econômicas da queima de madeira para produzir energia.

CONCLUSÕES

Este artigo confirmou a sustentabilidade do reaproveitamento de dormentes íntegros e não íntegros descartados como resíduo pela EFC. Há agregação de valor ao destiná-los de forma adequada para a cogeração de energia elétrica em UTE, com vantagens na redução de vários custos, a saber, armazenamento interno, destinação final e do pós-plantio (colheita, transporte e secagem de biomassa). Também podem ser destinados para carbonização e posterior uso na indústria siderúrgica como insumo. O mercado da construção civil e paisagismo é outro nicho econômico que pode reutilizar dormentes em pontes, pontilhões, pilares e cercas, ou como peças ornamentais, no entanto teria de ser considerado o seu tratamento químico.

A destinação adequada dos dormentes também reduz o número de ocorrências ambientais de queima a céu aberto e, ao reduzir incêndios, proporciona melhoria da qualidade de vida e da segurança das comunidades. A alternativa de queima controlada e monitorada para a cogeração de energia elétrica ou carbonização para uso em siderurgia é defendida pela literatura (HERY, 2004; RENDEIRO *et al.*, 2008; BOLIN; SMITH, 2011a, 2011b, 2011c; TREATED WOOD COUNCIL, 2012). Estes estudos apontam que madeiras tratadas com creosoto têm sido reconhecidas como combustível tradicional. Segundo a USEPA (2007), este combustível pode ser biomassa celulósica (e.g., madeira) ou combustíveis fósseis (e.g., carvão, óleo e gás natural), incluindo seus derivados (e.g., coque de petróleo, coque betuminoso, óleo de alcatrão de carvão, gás de refinaria, combustível sintético, asfalto, gás de alto forno, butano gasoso recuperado e gás de coqueria). Estes materiais têm sido queimados como combustíveis e gerenciados como produtos com valor agregado.

A experiência realizada neste trabalho aponta para a necessidade de se mitigar as emissões de material particulado pela chaminé da caldeira e se considerar a destinação das cinzas geradas no processo, classificadas como resíduo perigoso. Deve-se implantar e monitorar um sistema de tratamento dos gases para garantir que as emissões atmosféricas estejam de acordo com a legislação ambiental vigente no Brasil. O estudo confirmou a sustentabilidade econômica e ambiental da substituição de 1/5 da biomassa da lenha de eucalipto por *chips* de dormentes como insumo energético na UTE, desde que sejam adotadas as seguintes medidas:

- Melhorar o controle do processo de alimentação e de queima de biomassa na caldeira, para possibilitar o monitoramento mais eficiente da relação ar/combustível, temperaturas e pressões no interior da fornalha e quantidade de biomassa a ser queimada em função da demanda de vapor;
- Evitar a retirada das cinzas da fornalha pelo processo de “sopragem”, o qual promove o seu arraste com os gases de combustão para a chaminé, elevando a emissão de partículas para a atmosfera. Este problema foi evidenciado pelos espasmos intermitentes de fumaça preta lançados pela chaminé da UTE durante o teste de queima;
- Avaliar a eficiência de retenção do equipamento multiciclone; caso ele se mostre eficiente, com taxas superiores a 50% de abatimento, sugere-se que seja mantido e um equipamento auxiliar seja acoplado em série;
- Instalar equipamento de controle da poluição para a retenção e abatimento do material particulado. Isto pode ser feito através de um filtro de mangas

ou de um precipitador eletrostático que operem em conjunto com um defagulhador, para evitar a queima das mangas, ou ainda um lavador de gases. O referido filtro é um dispositivo de tratamento de emissões que filtra as partículas de impurezas presentes no ar carregado, retendo-as nos poros dos fios e na superfície do filtro, criando uma barreira que também atua como meio filtrante, mas precisa ser mantida limpa. O precipitador (ou filtro de ar eletrostático) é um dispositivo que, por processo de ionização, deixa as partículas de impurezas do ar carregadas eletricamente, sendo essas atraídas pelas placas laterais do equipamento, neutralizadas e deslocadas para um funil, de onde seguem para a área de descarte para receber o tratamento adequado;

- Avaliar as condições de uso e o desgaste do material refratário da caldeira, pois os parâmetros que apresentaram alterações indicam que o contaminante possa ser dos compostos existentes nesse material;
- Estudo complementar deverá focar na formação de dioxinas e furanos ao longo do processo para se evitar esses poluentes. De acordo com as melhores técnicas e práticas ambientais disponíveis (BAT/BEP), a adição de ureia pode reduzir até 50% da emissão de PCDD e PCDF ao limitar a disponibilidade de cloro e inibir a formação desses poluentes (WANG *et al.*, 1983; ASSUNÇÃO; PESQUERO, 1999; ERM BRASIL; VALE S.A., 2013; ASSUNÇÃO, 2014).

Os dados mostraram que o planejamento anual de dormentes descartados da EFC até 2022 pode reduzir até 16% a biomassa anual utilizada na UTE (DAMASCENO, 2015), o que evitaria o corte de árvores de eucalipto nas fazendas. A termelétrica considerada neste trabalho tem capacidade de produção de energia elétrica para abastecer cerca de 20 mil residências.

O presente experimento mostrou que o coprocessamento com dormentes reduz o custo da matéria-prima em 19,2%, evitando etapas de plantio, cultivo, colheita e secagem da madeira. Evita também o desperdício de água para irrigação do eucalipto e o custo de transporte porque esta UTE possui um ramal ferroviário que possibilita a logística do transporte dos dormentes até o seu pátio interno de descarga de insumos.

Conforme apontado por alguns estudos, o cultivo de biomassa para a geração de energia em áreas rurais tem se mostrado economicamente viável devido à dificuldade de abastecimento destas zonas por combustíveis fósseis ou sistema hidrelétrico. Quanto aos aspectos ambientais, verifica-se que uma central a biomassa possui um balanço de carbono lançado na atmosfera menor do que o das centrais a combustíveis fósseis, considerando as emissões de carbono que são evitadas e o ciclo de vida da biomassa. Comparativamente às emissões de uma termelétrica a diesel, para efeito de inventário de emissões, 1 kWh gerado por uma UTE a biomassa deixa de contabilizar 1,02 kg de carbono equivalente. Este elemento está relacionado ao Potencial de Aquecimento Global (PAG) dos gases do efeito estufa (GEE) em comparação à quantidade de dióxido de carbono que teria o mesmo PAG medido em um período de tempo específico (e.g., o PAG do metano é 21 e do óxido nitroso é 310). Isto significa que a emissão de 1 milhão de t métricas de metano e óxido nitroso é equivalente à emissão de 21 e 310 milhões de t métricas de dióxido de carbono, respectivamente.

Somente a emissão de carbono relativa ao transporte (com óleo diesel) da biomassa é lançada à atmosfera. O carbono restante é absorvido pelo manejo sustentável de florestas de eucalipto plantadas e pelo crescimento de novas árvores. Essas centrais também possuem capacidade de receber resíduos vegetais que são abandonados ou queimados a céu aberto, amenizando a questão ambiental desse tipo de queima de resíduos e emissão de GEE. No aspecto socioeconômico, centrais de biomassa de pequeno ou médio portes podem ser instaladas em regiões remotas, nas quais o sistema convencional tem dificuldade de produção e distribuição de energia elétrica. A UTE deste estudo de caso pode ser integrada à economia local e gerar empregos diretos e indiretos, inclusive com posições menos qualificadas que podem ser ocupadas por empregados com baixa escolaridade.

O custo do quilowatt-hora (kWh) gerado na usina a biomassa é inferior ao produzido pela usina a diesel e, apesar de não ser competitivo quando comparado ao da geração hídrica, lidera o *ranking* entre as outras usinas térmicas. Essas UTEs podem operar por longos períodos de tempo sem interrupção (requerem somente 250 horas por ano de parada para manutenção) e

atendem às exigências da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (RENDEIRO *et al.*, 2008).

Em conclusão, o artigo traz uma contribuição importante no debate sobre produção de energia a partir de madeira, por dois motivos. Primeiro, os resultados do presente estudo são consistentes com parte da literatura

especializada que confirmou a viabilidade ambiental da madeira para a cogeração de energia elétrica. Segundo, o trabalho analisou a dimensão econômica dos efeitos da queima controlada de madeira para a produção de eletricidade na UTE, preenchendo parcialmente uma lacuna na discussão deste aspecto ainda praticamente inexplorado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Edital do Leilão de Geração nº 6/2014 (A-5) é republicado pela ANEEL*. 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8185&id_area=90>. Acesso em: 01 jun. 2017.

ALVES, G. K. A. Dormentes – dormentes ferroviários, seu tratamento. Dormentes de madeira, 2013. Disponível em: <<http://dormentesdeeucaipto.blogspot.com.br/2013/09/dormentes-dormentes-ferroviarios-seu.html>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

_____. *Os dormentes ferroviários, seu tratamento e o meio ambiente*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

ASHORI, A.; TABARSA, T.; AMOSI, F. Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials. *Construction and Building Materials*, v. 27, n. 1, p. 126-129, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR-10004, NBR-10005, NBR-10006 e NBR-10007: Classificação de resíduos sólidos – Coletânea de Normas*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ASSUNÇÃO, J. V. Estratégias para redução de liberações de dioxinas e furanos no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/226151549/Estrategias-para-Reducao-de-Liberacoes-de-Dioxinas-e-Furanos-pdf#scribd>>. Acesso em: maio 2015.

ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUERO, C. Dioxinas e Furanos: origens e riscos. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 33, n. 5, p. 523-530, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101999000500014>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BECKER, L.; MATUSCHEK, G.; LENOIR, D.; KETTRUP, A. Thermal degradation of wood treated with creosote. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 57, n. 1, p. 15-36, 2001. DOI: 10.1016/S0165-2370(00)00117-0

BOLIN, C.; SMITH, S. Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 6-7, p. 620-629, 2011a. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610004567>>. Acesso em: jan. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.12.004

BOLIN, C.; SMITH, S. Life cycle assessment of borate-treated lumber with comparison to galvanized steel framing. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 6-7, p. 630-639, 2011b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610004579>>. Acesso em: jan. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.12.005

BOLIN, C.; SMITH, S. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 5, p. 2475-2486, 2011c. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000682>>. Acesso em: jan. 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2011.01.019

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balço Energético Nacional*. Síntese do Relatório Final 2014. Matriz Energética Brasileira em 2013. Brasil: Empresa de Pesquisa Energética/Ministério das Minas e Energia, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BRINA, H. L. *Estradas de ferro: tração, frenagem, material rodante, circulação de trens*. 2. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1988. v. 2.

BROUWER, J.; OWENS, W. D.; HARDING, N. S.; HEAP, M. P. Co-Firing Waste Fuels and Coal for Emissions Reduction. *Proceedings of the Second Biomass Conference of the Americas*, 1995.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo 2002*. São Paulo: CETESB, 2003.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 316/2002. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em: set. 2017.

CORRÊA NETO, Vicente. *Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/vcneto.pdf>>. Acesso em: out. 2014.

DAMASCENO, F. G. *Avaliação do reaproveitamento de dormentes de madeira da Estrada de Ferro Carajás para a cogeração de energia elétrica*. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Tecnológico Vale, Belém, 2015.

ERM BRASIL; VALE S.A. *Teste de queima de dormentes na Usina Termelétrica da Queiroz Galvão localizada em Santa Inês-MA*. Relatório Final. VALE/ERM, dez. 2013.

FALK, R. H.; MCKEEVER, D. B. Recovering wood for reuse and recycling: a United States perspective. In: EUROPEAN COST E31 CONFERENCE: MANAGEMENT OF RECOVERED WOOD RECYCLING BIOENERGY AND OTHER OPTIONS. *Proceedings*, 22-24 abr. 2004, Thessaloniki: University Studio Press, 2004. p. 29-40.

FERDOUS, W.; MANALO, A.; VAN ERP, G.; ARAVINTHAN, T.; KAEWUNRUEN, S.; REMENNIKOV, A. Composite railway sleepers – Recent developments, challenges and future prospects. *Composite Structures*, v. 134, p. 158-168, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.058>

FERRARINI, S.F.; SANTOS, H. S.; MIRANDA, L. G.; AZEVEDO, C. M. N.; MAIA, S. M.; PIRES, M. Decontamination of CCA-treated eucalyptus wood waste by acid leaching. *Waste Management*, v. 49, p. 253-262, 2016.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA DO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. *Anais...* 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 13 jun. 2013.

GOMES, H.; RIBEIRO, A. B.; LOBO, V. Otimização da localização de unidades de remediação de resíduos de madeira tratada. *Silva Lusitana*, v. 14, n. 2, p. 181-202, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0870-63522006000200005&lng=es&nrm=.pf>. Acesso em: jan. 2015.

GOMES, S. I.; CORRADI, G.; RAVAGNANI, M. A. S. S.; ANDRADE, C. M. G. Análise da viabilidade do sistema silvipastoril como alternativa energética, não convencional, para produção complementar de energia elétrica e o desenvolvimento territorial sustentável. In: SIMPÓSIO DE BIOENERGIA E BIOCMBUSTÍVEIS DO MERCOSUL, 2., 2014.

Anais... 2014. Disponível em: <<http://cac-php.unioeste.br/eventos/simbiomercosul/anais/arquivos/171.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

HELSEN, L.; VAN DEN BULCK, E.; HERY, J. S. Total recycling of CCA treated wood waste by low-temperature pyrolysis. *Waste Management*, v. 18, p. 571-578, 1998.

HERY, J.-S. A complete industrial process to recycle CCA-treated wood. In: ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PRESERVATIVE-TREATED WOOD, 2004, Orlando. *Proceedings...* 2004. Disponível em: <http://ccaresearch.org/ccaconference/pre/document/FI_Env_Cent_Treated_Wood_Proceedings2.pdf#page=321>. Acesso em: 01 jun. 2017.

JAPH SERVIÇOS ANALÍTICOS; RECICARBON INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. *Relatório do Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ) com dormentes*. Unidade Industrial de Aracruz, Espírito Santo. Relatório Final. Aracruz: Recicarbon Ind. Com. Ltda./JAPH Serviços Analíticos Ltda., 2013.

KAMISAKI, G.; VALENTE, R. C.; HEIER, T.; MACHADO, H. A. Análise técnica e econômica da cogeração de energia elétrica utilizando turbina a vapor em ciclo simples a partir de biomassa. Faculdade de Tecnologia de Resende da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Paper CIT-06-0260. *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering ENCIT*, Curitiba, 2006.

KAPOORIA, R. K.; KUMAR, S.; KASANA, K. S. An analysis of a thermal power plant working on a Rankine cycle: a theoretical investigation. *Journal of Energy in Southern Africa*, v. 19, n. 1, 2008.

MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L. Field testing of CCA – treated Brazilian spotted gum. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 74, p. 124-128, 2012. DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.05.024

MANALO, A.; ARAVINTHAN, T.; KARUNASENA, W.; TICOALU, A. A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers. *Composite Structures*, v. 92, n. 3, p. 603-611, 2010.

MARCOTTE, S.; POISSON, T.; PORTET-KOLTALO, F.; AUBRAYS, M.; BASLE, J.; DE BORT, M.; GIRAUD, M.; NGUYEN HOANG, T.; OCTAU, C.; PASQUEREAU, J.; BLONDEEL, C. Evaluation of the PAH and water-extractable phenols content in used cross ties from French rail network. *Chemosphere*, v. 111, p. 1-6, 2014. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.012

NOGUEIRA, L. A. H. *Uso da biomassa florestal para geração elétrica em grande escala: o projeto “WBP-SIGAME” brasileiro*. Itajubá: Instituto de Mecânica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá/Depósito de Documentos da FAO, 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0m.htm#usodebiomassaflorestalparageraçãoeletricaemgrande>>. Acesso em: out. 2014.

RAMOS, W. F.; RUIVO, M. L. P.; GONÇALVES JARDIM, M. A.; PORRO, R.; SILVA CASTRO, R. M.; SOUSA, L. M. Análise da indústria madeireira na Amazônia: gestão, uso e armazenamento de resíduos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 43, p. 1-16, mar. 2017. DOI: 10.5327/Z2176-947820170057

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M.; BRASIL, A. C. M.; CRUZ, D. O. A.; GUERRA, D. R. S.; MACÊDO, E. N.; ICHIHARA, J. A. Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/863/2/combust%C3%A3o%20e%20gasifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20biomassa%20s%C3%B3lida.pdf>>. Acesso em: dez. 2014.

SALLES, A. C. N. de. *Emissões dos gases do efeito estufa dos dormentes de ferrovia de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base em seus ciclos de vida*. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TASKHIRI, M. S.; GARBS, M.; GELDERMANN, J. Sustainable logistics network for wood flow considering cascade utilization. *Journal of Cleaner Production*, v. 110, n. 1, p. 25-39, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.098>

THIERFELDER, T.; SANDSTRÖM, E. The creosote content of used railway crossties as compared with European stipulations for hazardous waste. *Science of the Total Environment*, v. 402, p. 106-112, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708004701?via%3Dihub>>. Acesso em: 01 jun. 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.035

TORRES FILHO, A. *Viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos de madeira para produção de um combustível alternativo*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

TREATED WOOD COUNCIL. *Comments on proposed draft final regulations – 225 CMR 14:00: Renewable Energy Portfolio Standard – Class I: Eligible Biomass Fuel Definition Revisions*. Massachusetts Department of Energy Resources, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 5 - Particulate Matter (PM). Air Emission Measurement Center (EMC). Disponível em: <<https://www.epa.gov/emc/method-5-particulate-matter-pm>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Preliminary Risk Assessment for Creosote. *Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets*, 2007. Disponível em: <https://inspectapedia.com/chimneys/Creosote_Risks_EPA.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

VALE S.A. *Contrato interno nº 2162147 para incineração de resíduos perigosos*. Central de Materiais Descartados (CMD). VALE S.A., 2013. (mimeo.).

_____. *Especificação técnica para dormentes de eucalipto*. VALE S.A., 2009. (mimeo.).

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 1, jan.-mar. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cflo/v25n1/0103-9954-cflo-25-01-00257.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

WANG, D. K. W.; CHIU, D. H.; LEUNG, P. K.; THOMAS, R. S.; LAO, R. C. Sampling and analytical methodologies for PCDDs and PCDFs in incinerators and wood burning facilities. In: TUCKER, R. E.; YOUNG, A. L.; GRAY, A. P. (Eds.). *Human and Environmental Risks of Chlorinated Dioxins and Related Compounds*. New York: Plenum Press, 1983. p. 113-126.

IMPACTO DO EFEITO DE BORDA SOBRE A COMUNIDADE DE SAMAMBAIAS EPIFÍTICAS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA

IMPACT OF EDGE EFFECT ON THE COMMUNITY OF EPIPHYTIC FERNS IN ARAUCARIA FOREST

Vinícius Leão da Silva

Biólogo. Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental na Universidade Feevale – Novo Hamburgo (RS), Brasil.

Ivanete Teresinha Mallmann

Bióloga. Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental na Universidade Feevale – Novo Hamburgo (RS), Brasil.

Simone Cunha

Bióloga. Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale – Novo Hamburgo (RS), Brasil.

Jairo Lizandro Schmitt

Biólogo. Doutor em Botânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre (RS). Professor titular do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale – Novo Hamburgo (RS), Brasil.

Endereço para correspondência:

Vinícius Leão da Silva – ERS-239, 2755 – Vila Nova – 93525-075 – Novo Hamburgo (RS), Brasil – E-mail: suicinivleao@hotmail.com

Recebido: 26/01/2017

Aceito: 24/07/2017

RESUMO

Samambaias epifíticas são consideradas importantes indicadoras de qualidade ambiental, pois são impactadas pelo efeito de borda. Neste trabalho, analisou-se esse efeito em duas comunidades de samambaias epifíticas em remanescentes de floresta com araucária, sendo a primeira denominada Macaco Branco, com uma estrada que corta o fragmento; e a outra, Cravina, apresentando uma área com produção agrícola no entorno. Foram sorteadas 12 parcelas na borda e no interior florestal de cada sítio, nas quais coletaram-se parâmetros fitossociológicos, microclimáticos e de abertura de dossel. Dezesesseis espécies de samambaias foram registradas. O interior do sítio Macaco Branco apresentou maior riqueza e umidade do ar, o que indica que esse ambiente oferece melhores condições microclimáticas para o desenvolvimento e estabelecimento dessas plantas. Os resultados demonstraram que o efeito de borda foi mais pronunciado no sítio Cravina, que possui matriz de agricultura, em comparação ao Macaco Branco, que é circundado por uma estrada.

Palavras-chave: fatores abióticos; fragmentação; qualidade ambiental.

ABSTRACT

Epiphytic ferns are considered important indicators of environmental quality, as they are impacted by the edge effect. In this work, this effect was analyzed in two communities of epiphytic ferns in remnants of Araucaria forest, the first one denominated Macaco Branco, with a road that cross the fragment; and the other, Cravina, presenting an area with agricultural production in the surroundings. Twelve plots were drawn on the edge and in the forest interior of each site, in which phytosociological, microclimatic and canopy opening parameters were collected. Sixteen species of ferns were recorded. The interior of the Macaco Branco site presented greater richness and air humidity, indicating that this environment offers better microclimatic conditions for the development and establishment of these plants. The results showed that the edge effect was more pronounced in the Cravina site, which has an agriculture matrix, compared to the Macaco Branco, which is surrounded by a road.

Keywords: abiotic factors; fragmentation; environmental quality.

INTRODUÇÃO

A fragmentação é um processo no qual uma grande extensão do habitat natural é transformada em uma série de pequenas manchas de área menor, isoladas umas das outras por uma matriz diferente da original (WILCOVE *et al.*, 1986; FAHRIG, 2003). Em função disso, ocorre o aumento de áreas de borda nos remanescentes, ocasionando importantes mudanças nas propriedades ecológicas (FAHRIG, 2003; MÄHLER JUNIOR & LARROCCA, 2009). Dessa forma, atualmente parte das paisagens florestais pode estar experimentando a influência de borda (HARPER *et al.*, 2005).

Ao contrário do que ocorre em zonas de tensão natural, onde há um gradiente de limites entre dois habitats, as bordas resultantes de atividades antropogênicas consistem em uma quebra abrupta da paisagem (PÉRICO *et al.*, 2005). Assim, a magnitude dos efeitos de borda depende do contraste entre a fisionomia da matriz e do fragmento florestal (ARAGÓN *et al.*, 2015). A qualidade da matriz usualmente aumenta quando a sua estrutura é mais similar com a do habitat que está isolado (PREVEDELLO & VIEIRA, 2010). Mesquita *et al.* (1999) evidenciaram que a taxa de mortalidade de árvores foi mais intensa em fragmentos contornados por pastagens do que por florestas secundárias, em início de estágio de sucessão.

Além da matriz de entorno, o tempo de criação das bordas pode ser um fator importante (SAUNDERS *et al.*, 1991; HARPER *et al.*, 2005). A regeneração natural nas imediações de um fragmento potencialmente pode tamponar as diferenças ambientais, diminuindo o efeito de borda (MESQUITA *et al.*, 1999; LAURANCE *et al.*, 2011).

O micro-habitat em uma borda é diferente do encontrado no interior dos remanescentes, sendo que alguns dos efeitos mais comuns estão intimamente ligados ao aumento da luminosidade e da temperatura, baixa umidade e aumento da incidência dos ventos (KAPOS, 1989). A incidência luminosa e dos ventos é mais elevada nas bordas florestais, pois os obstáculos naturais formados por árvores adjacentes são suprimidos (SILVA *et al.*, 2010).

Aproximadamente 3.300 espécies de epífitos ocorrem na Floresta Atlântica (KERSTEN, 2010) e em algumas formações florestais neotropicais podem compor mais de 50% das espécies vegetais (KERSTEN & SILVA, 2005). Dentre as fitofisionomias do bioma Floresta Atlântica, destaca-se a floresta com araucária, cujo elemento característico é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze,

com ocorrência praticamente restrita às regiões Sul e Sudeste do Brasil (KLEIN, 1960). Extremamente fragmentada, sua área de distribuição está condicionada a menos de 5% da sua superfície original (BRASIL, 2007).

Os epífitos são um importante componente vegetal e apresentam grande diversidade, além da capacidade de formar abrigo para outros organismos (BATAGHIN *et al.*, 2010). Eles são considerados importantes indicadores ecológicos e o seu monitoramento permite avaliar os efeitos da perturbação florestal (TURNER *et al.*, 1994; HICKEY, 1994; HIETZ, 1999) bem como o seu estágio sucessional (KERSTEN & KUNIYOSHI, 2009).

Samambaias podem ser um bom instrumento para testar os efeitos da fragmentação e perda de habitats (PEREIRA *et al.*, 2014; SILVA & SCHMITT, 2015). Apesar disso, estudos específicos considerando efeito de borda com esse grupo são escassos. Grime (1985) demonstrou que muitas espécies de samambaias não suportam alterações climáticas consequentes do efeito de borda, pois inúmeras são intolerantes às maiores incidências de vento e luminosidade. Paciencia e Prado (2004; 2005) e Silva *et al.* (2011) realizaram análises comparativas entre borda e interior de áreas florestais no Sudeste e Nordeste brasileiro, respectivamente, e verificaram que houve decréscimo na riqueza de espécies de samambaias na borda, quando comparada com o interior da floresta. Outros estudos desenvolvidos no sul do Brasil evidenciaram a capacidade das samambaias epifíticas de responder aos processos de preservação e antropização local (ROCHA-URIARTT *et al.*, 2015; 2016; BECKER *et al.*, 2015), denotando o seu papel de indicadora da qualidade ambiental em florestas.

Os objetivos deste estudo foram:

1. comparar a cobertura, riqueza e composição de samambaias epifíticas no interior e borda de dois sítios em floresta com araucária;
2. comparar as condições microclimáticas entre as bordas e interiores de ambos os sítios;
3. analisar a influência da abertura no dossel sobre a cobertura das plantas; e
4. verificar se sítios com bordas submetidos a diferentes matrizes de entorno são distintos em termos das variáveis bióticas e abióticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na Floresta Nacional da cidade de São Francisco de Paula (FLONASFP), no Rio Grande do Sul (Figura 1). A unidade de conservação cobre uma área de 1.606,60 ha e apresenta clima do tipo Cfb — C: temperado; F: sem uma estação seca definida; b: com verões quentes (PEEL *et al.*, 2007) —, sendo que as médias anuais de temperatura e precipitação pluviométrica são 14,1 °C e 2.468 mm, respectivamente (MORENO, 1961). A sede da FLONASFP está a 902 m de altitude.

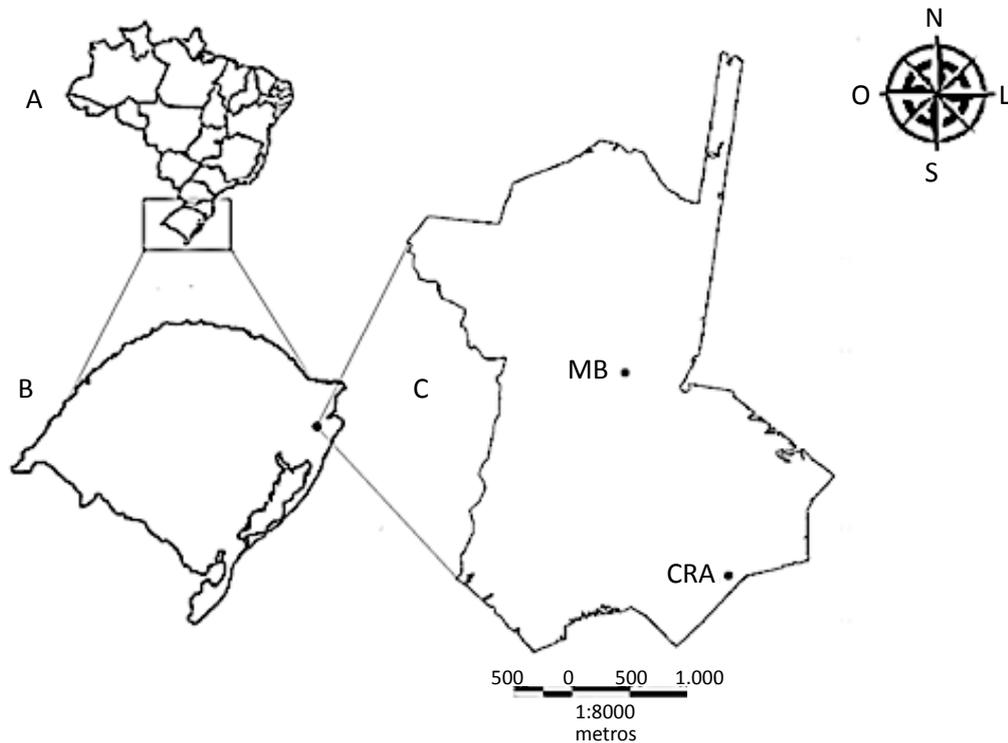
Os dois sítios escolhidos para a análise do efeito de borda estão localizados em floresta com araucária. O primeiro compreende uma área que apresenta borda em decorrência da abertura de uma estrada no interior da unidade

de conservação com aproximadamente 5 m de largura e é denominado Macaco Branco (29°25'08"S e 50°23'44"O; 960 m de altitude). A abertura da estrada ocorreu há 70 anos e, embora continue sendo uma das vias de acesso à unidade, não houve mais interferência nos dois fragmentos adjacentes a ela. O segundo diz respeito a uma área de floresta que apresenta uma borda lindeira com uma propriedade agrícola externa à FLONASFP denominada Cravina (29°26'51"S e 50°22'50"O; 918 m). Essa borda foi criada há pelo menos 40 anos e desde então vem sendo mantida com o cultivo de hortaliças de diversas espécies pelo sistema convencional. De acordo com Valarini *et al.* (2011), esse sistema de produção é caracterizado por aporte intensivo de insumos.

Demarcação das unidades amostrais

Em cada sítio, em uma extensão de 250 m de borda foram marcados 25 pontos distantes 10 m entre si, dos quais foram sorteados 12. Em cada ponto sorteado,

demarcou-se uma parcela de 10x10 m distante 5 m da borda do fragmento florestal. Paralelamente, a cada parcela de borda foi alocada, a uma distância



MB: sítio Macaco Branco; CRA: sítio Cravina.

Figura 1 – (A) Brasil; (B) Rio Grande do Sul; (C) Floresta Nacional de São Francisco de Paula.

de 100 m em direção ao interior florestal, outra unidade amostral de mesmo tamanho. Dessa forma, fo-

Seleção dos forófitos arbóreos

Em cada parcela foram analisadas todas as árvores com DAP \geq 10 cm até 4 m de altura, além de ser considerada a altura total de cada árvore e o número de indivíduos por parcela. Cada forófito foi dividido em quatro intervalos de 1 m, nos quais levou-se em consideração a presença ou a ausência de espécies de sa-

Inventário florístico e identificação taxonômica

O procedimento de coleta seguiu técnicas usuais propostas por Windisch (1992). Foram realizadas visitas trimestrais para a coleta de material botânico no período de um ano. Todo o material coletado foi depositado no Herbário PACA da Universidade do Vale do Rio dos

Variáveis microclimáticas

Utilizando um Termo-higro-anemômetro Luxímetro Digital Portátil (InstruTerm-Thal- 300, modelo 0211) acoplado a um tripé (VF WT-3111) e posicionado a 0,75 m do solo, foram coletados dados na borda e no interior dos sítios estudados relativos à temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A coleta desses dados foi realizada em um dia de sol típico de verão e em outro de inverno. O período de coleta foi de 12 horas, com intervalo de 1 hora (das 6 às 18h).

Análise de dados

Verificou-se a normalidade dos dados por meio do teste Shapiro-Wilk. Como as hipóteses de normalidade não foram satisfatórias, analisaram-se os dados bióticos e abióticos pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (U), com probabilidade de 5% — para as análises estatísticas dos dados utilizou-se o programa Biostat 5.0 (AYRES *et al.*, 2007).

A composição florística de cada sítio foi analisada por meio do índice de Sørensen-Dice e, a partir de uma matriz de presença e ausência das espécies na borda e no

ram analisadas 12 parcelas na borda e 12 no interior, em cada sítio.

mambaias epifíticas. Para as espécies, atribui-se uma nota de cobertura por intervalo correspondente a 1, 3, 5, 7 ou 10, o que simula o parâmetro de dominância, uma vez que quanto maior a biomassa da espécie epifítica maior é a nota a ela aplicada (KERSTEN & WAECHTER, 2011).

Sinos (UNISINOS). Para as identificações taxonômicas, utilizaram-se referências bibliográficas especializadas e comparação com plantas herborizadas e tombadas. As famílias botânicas foram arrançadas de acordo com o sistema descrito por PPGI (2016).

A medida indireta da luz foi obtida por meio do grau de abertura de dossel e determinado a partir de fotos hemisféricas tomadas no centro de cada parcela na borda e no interior de ambos os sítios. O grau de abertura foi alcançado com o auxílio da câmera fotográfica Sony modelo H5 acoplada à lente olho de peixe Raynox Digital modelo DCR-CF 85 Pro. A câmera foi nivelada e posicionada a 1 m do solo. Para a obtenção do percentual de abertura de dossel, as imagens foram analisadas no programa GAP Light Analyzer, versão 2.0 (FRAZER *et al.*, 1999).

interior dos sítios, foi obtido um dendrograma de similaridade pelo método de ligação UPGMA (média aritmética não ponderada). Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada para verificar quais são os fatores mais relacionados com a segregação entre as parcelas das bordas e interiores de ambos os sítios e as variáveis mais fortemente correlacionadas aos grupos. Ambas foram realizadas pelo software *Paleontological Statistics Package for Education and Data Analysis (PAST)* versão 3.0 (HAMMER *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Ao todo foram inventariadas 16 espécies de samambaias epifíticas, distribuídas em 10 gêneros

e 6 famílias. A família mais representativa foi a *Polypodiaceae* com nove espécies, seguida por

Aspleniaceae (três espécies), e *Dryopteridaceae*, *Hymenophyllaceae*, *Blechnaceae* e *Pteridaceae*, com apenas uma cada (Tabela 1).

O sítio Macaco Branco obteve a maior riqueza de espécies (15), somando as samambaias da borda e as do interior florestal. Já no sítio denominado Cravina a ri-

queza foi de dez espécies. *Pleopeltis pleopeltidis* (Fée) de la Sota, *Rumohra adiantiformis* (G.Forst.) Ching e *Vandenboschia radicans* (Sw.) Copel foram exclusivas do interior do sítio Macaco Branco, enquanto *Asplenium sellowianum* (Hieron.) Hieron foi a única espécie restrita ao interior do sítio Cravina (Tabela 1).

Tabela 1 – Famílias e espécies de samambaias encontradas em dois sítios de floresta com araucária no sul do Brasil.

Família/Espécie	CRA		MB	
	Borda	IN	Borda	IN
Aspleniaceae				
<i>Asplenium gastonis</i> Fée			X	X
<i>Asplenium scandicinum</i> Kaulf.		X		X
<i>Asplenium sellowianum</i> (Hieron.) Hieron.		X		
Dryopteridaceae				
<i>Rumohra adiantiformis</i> (G.Forst.) Ching				X
Hymenophyllaceae				
<i>Vandenboschia radicans</i> (Sw.) Copel.				X
Blechnaceae				
<i>Lomaridium acutum</i> (Desv.) Gasper & V.A.O. Dittrich	X	X	X	X
Polypodiaceae				
<i>Campyloneurum austrobrasillianum</i> (Alston) de la Sota	X	X	X	X
<i>Campyloneurum nitidum</i> (Kaulf.) C.Presl	X	X		X
<i>Microgramma squamulosa</i> (Kaulf.) de la Sota	X		X	X
<i>Niphidium crassifolium</i> Lellinger	X	X		X
<i>Pecluma pectinatifomis</i> (Lindm.) M.G.Price			X	X
<i>Pecluma recurvata</i> (Kaulf.) M.G.Price			X	X
<i>Pecluma sicca</i> (Lindm.) M.G.Price	X	X	X	X
<i>Pleopeltis hirsutissima</i> (Raddi) de la Sota	X		X	X
<i>Pleopeltis pleopeltidis</i> (Fée) de la Sota				X
Pteridaceae				
<i>Vittaria lineata</i> (L.) Sm.		X		X
Total	7	8	8	15

CRA: sítio Cravina; MB: sítio Macaco Branco; IN: Interior.

Em relação à média da altura das árvores, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre bordas e interiores de ambos os sítios (Tabela 2). Em média, foi significativamente maior na borda do Cravina quando comparada à do Macaco Branco ($U = 3022,5$; $P = 0,004$). As árvores do interior do Cravina também foram cerca de 1,5 m mais altas

do que as do interior do Macaco Branco ($U = 2483$, $P = 0,001$).

Considerando as bordas ($U = 3665$, $P = 0,318$) e os interiores ($U = 2813$, $P = 0,420$), não foram observadas diferenças significativas entre o DAP de árvores. Da mesma forma, quando comparados a borda e o

Tabela 2 – Comparação das variáveis bióticas e abióticas entre bordas e interiores dos sítios Macaco Branco e Cravina.

Parâmetro	Macaco Branco							U	P
	Borda			Interior					
	Mín.	Méd. ± DP	Máx.	Mín.	Méd. ± DP	Máx.			
SE (espécies forófito ⁻¹)	0	0,1 ± 0,4	3	0	0,5 ± 0,7	3	8	0,001	
CE (nota total espécie ⁻¹)	1	5,6 ± 8,7	27	1	6,5 ± 7,9	34	37	0,138	
NAP	7	9,2 ± 2,2	14	0	6,7 ± 3,8	12	41	0,074	
DAP (cm)	10	27,3 ± 25,6	220	10	20,5 ± 11,4	70	3737,5	0,057	
AA (m)	5	8,9 ± 2,8	18	5	8,5 ± 2,4	17	4385	0,853	
AD (%)	14,5	15,3 ± 1,2	18,1	9,5	12,6 ± 2,4	17,8	23	0,005	
T (°C)	6,5	18,6 ± 5,5	25,1	5,6	18,8 ± 5,5	26,6	284	0,943	
UR (%)	51,1	72,9 ± 10,9	90,7	48	72,5 ± 10,8	89	288	1,000	
VV (km/h)	0	0,4 ± 0,8	2,6	0	0,4 ± 0,7	2,4	280	0,869	
Parâmetro	Cravina							U	P
	Borda			Interior					
	Mín.	Méd. ± DP	Máx.	Mín.	Méd. ± DP	Máx.			
SE (espécies forófito ⁻¹)	0	0,2 ± 0,4	2	0	0,2 ± 0,5	3	3095	0,979	
CE (nota total espécie ⁻¹)	2	6,0 ± 4,7	15	3	7,3 ± 6,2	19	24	0,643	
NAP	3	6,4 ± 2,2	11	2	7,1 ± 3,0	14	58	0,419	
DAP (cm)	10	26,7 ± 16,8	103	10	26,7 ± 19,3	110	2919	0,522	
AA (m)	6,5	9,8 ± 2,7	19	5,5	10,0 ± 3,2	19	3093	0,972	
AD (%)	15,6	18,8 ± 2,3	23,7	7,1	12,3 ± 4,5	23,7	14	0,001	
T (°C)	8,2	20,2 ± 4,8	26,5	6,4	18,9 ± 5,0	24,8	238	0,303	
UR (%)	39,1	59,7 ± 9,6	75,2	50,7	68,5 ± 7,3	80	131,5	0,001	
VV (km/h)	0	4,2 ± 3,7	12,1	0	0,7 ± 1,0	3,3	74	<0,001	

Mín: valores mínimos; Méd. ± DP: valores médios ± desvio-padrão; Máx.: valores máximos; U: Teste de Mann-Whitney; P: 5% de significância; SE: riqueza de espécies; CE: cobertura de espécies; NAP: número de árvores por parcela; DAP: diâmetro à altura do peito de árvores ≥ 10 cm; AA: altura de árvores; AD: abertura de dossel; T: temperatura; UR: umidade relativa do ar; VV: velocidade do vento.

interior, o DAP do Macaco Branco e do Cravina foram equivalentes (Tabela 2).

Com relação ao número de árvores por parcela, verificou-se que a borda do Macaco Branco apresentou significativamente mais indivíduos que a do Cravina ($U = 22,5$, $P = 0,004$). No entanto, essa diferença não foi constatada entre os interiores florestais ($U = 65,5$, $P = 0,707$). O número de árvores por parcela da borda e do interior do Macaco Branco e do Cravina também não foram diferentes entre si estatisticamente (Tabela 2).

O dossel do interior do sítio Macaco Branco foi significativamente mais fechado em comparação à borda. Observou-se esse mesmo padrão para o sítio Cravina, no qual a borda foi significativamente mais aberta em relação à do interior (Tabela 2). A borda do sítio Macaco Branco apresentou dossel mais fechado que a do Cravina ($U = 12$, $P = 0,0005$). Essa diferença não foi observada entre os interiores dos sítios ($U = 64$, $P = 0,644$).

Considerando borda e interior do sítio Macaco Branco, verificaram-se diferenças estatísticas significativas entre riqueza de epífitos por forófito, sendo maior no interior florestal. Foram registradas no máximo três espécies por forófito e observou-se ausência de espécies em todos os forófitos de quatro parcelas da borda e em duas do interior (Tabela 2). No sítio Cravina não foram observadas diferenças significativas na riqueza de epífitos por forófito entre borda e interior. Uma parcela da borda e três do interior não apresentaram epífitos. No máximo, foram observadas três espécies por forófito (Tabela 2).

Em média, o interior do Macaco Branco registrou riqueza de epífitos estatisticamente maior que o do Cravina ($U = 2721,5$, $P = 0,019$). Não houve diferença estatística significativa entre as médias de riqueza de espécies epífitas das bordas de ambos os sítios ($U = 3775$, $P = 0,494$).

Também não se verificaram diferenças significativas na cobertura das samambaias epífitas entre borda e interior do respectivo sítio (Tabela 2). Na comparação entre bordas ($U = 37$, $P = 0,137$) e entre interiores ($U = 24$, $P = 0,643$), averiguou-se que as notas médias de cobertura foram equivalentes estatisticamente.

O índice de similaridade de Sørensen-Dice revelou que as espécies foram distribuídas em dois grupos,

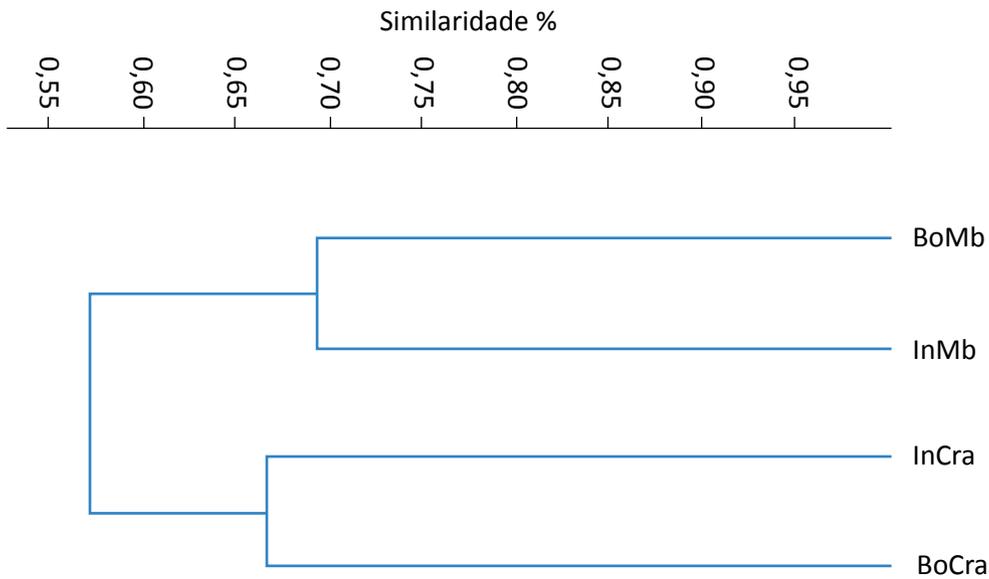
nos quais as comunidades de borda e interior dos respectivos sítios se uniram, com cerca de 70% de similaridade. Já na comparação dos grupos, percebe-se que a semelhança florística reduziu para menos de 60% (Figura 2).

Verificou-se que a temperatura média foi igual estatisticamente entre borda e interior de ambos os sítios (Tabela 2). A comparação entre as bordas ($U = 241$, $P = 0,332$) e os interiores também não evidenciou particularidades ($U = 282,5$, $P = 0,909$).

A velocidade do vento não apresentou distinções significativas entre borda e interior do Macaco Branco (Tabela 2). Já na comparação entre borda e interior do sítio Cravina, verificou-se diferença significativa, sendo que o seu interior registrou velocidade do vento cerca de duas vezes menor (Tabela 2). Na borda do Cravina, a velocidade máxima chegou a 12,1 km/h, e no interior não ultrapassou de 3,3 km/h. Já na do Macaco Branco foi significativamente menor ($U = 48,5$, $P = 0,0001$). Comparando os interiores, constatou-se que não houve diferenças para esse parâmetro ($U = 228$, $P = 0,216$).

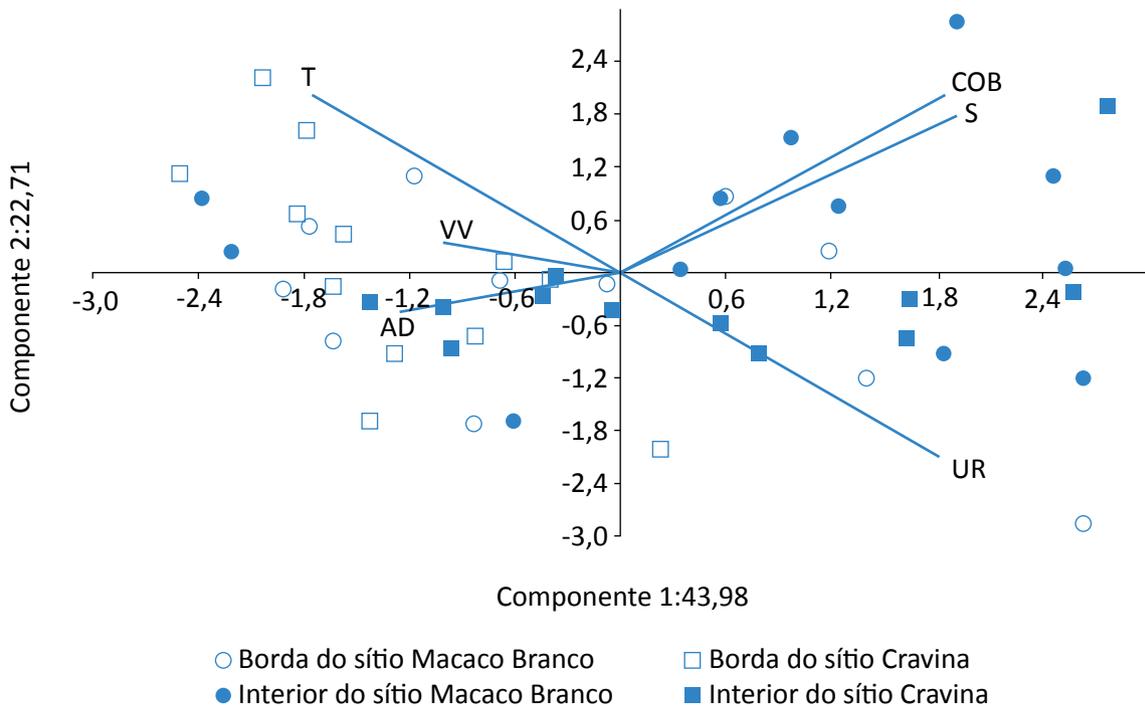
A umidade relativa do ar apresentou diferença significativa entre borda e interior do Cravina, sendo que o ar do interior foi em torno de 10% mais úmido que o da borda (Tabela 2). Já o sítio Macaco Branco não demonstrou diferença nessa variável (Tabela 2). O ar da borda do Cravina foi em média 13% mais seco do que o da borda do Macaco Branco ($U = 110$, $P = 0,0002$). Não foram observadas diferenças entre a umidade do ar dos interiores dos sítios ($U = 204,5$, $P = 0,085$).

A soma dos dois primeiros componentes principais da PCA explicaram 66,69% da variação e indicaram que no componente 1 (43,98%) a riqueza foi a variável mais relacionada (0,47), seguida da cobertura (0,46). Já no componente 2 (22,71%), a variável mais relacionada foi umidade relativa do ar (0,52), seguida pela cobertura de samambaias epífitas. Houve uma tendência na ordenação das parcelas do interior do sítio Macaco Branco apresentarem os valores mais correlacionados entre cobertura, riqueza e maiores percentuais de umidade relativa do ar. As parcelas do interior do sítio Cravina não apresentaram distribuição clara na ordenação. Parcelas de ambas as bordas se agruparam de acordo com os maiores valores de temperatura, velocidade do vento e abertura de dossel (Figura 3).



BoMb: Borda do sítio Macaco Branco; InMb: Interior do sítio Macaco Branco; InCra: Interior do sítio Cravina; BoCra: Borda do sítio Cravina.

Figura 2 – Dendrograma de similaridade florística gerado pelo Método de Associação Média (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages – UPGMA) utilizando-se o coeficiente de Sørensen-Dice.



S: riqueza de samambaias epifíticas; COB: cobertura de samambaias epifíticas; AD: abertura de dossel; T: temperatura; UR: umidade relativa do ar; VV: velocidade do vento.

Figura 3 – Análise de componentes principais (PCA).

DISCUSSÃO

Os resultados sustentam que o interior do Macaco Branco é o mais preservado em relação às demais áreas comparadas. Johansson (1989) indicou que o número de espécies epifíticas possui relação inversa à degradação da vegetação em floresta tropical africana. Wolf (2005) relata que florestas pobres em epífitos apresentam um elevado grau de perturbação em um estudo desenvolvido em floresta temperada. De acordo com Bataghin *et al.* (2010), em um estudo desenvolvido em floresta estacional semidecidual, as plantas epifíticas são consideradas ótimas indicadoras de qualidade ambiental em função de suas características fisiológicas e nutricionais, refletindo o grau de preservação local.

Outros estudos realizados no sul do Brasil também indicam que há grande número de espécies concentrado em poucas famílias (SCHNEIDER & SCHMITT, 2011; SILVA & SCHMITT, 2015). Polypodiaceae está entre as famílias mais ricas nos levantamentos epifíticos realizados no Brasil por Labiak & Prado (1998), Bernardi & Budke (2010) e Schneider & Schmitt (2011). Ela também foi a mais rica no inventário realizado por Goetz *et al.* (2012) em Floresta com Araucária. Em um trabalho desenvolvido por Becker *et al.* (2015) na mesma unidade de conservação estudada, considerando epífitos sobre forófitos em *Dicksonia sellowiana* e *Araucaria angustifolia*, verificou-se que Polypodiaceae se manteve na primeira colocação em riqueza, considerando a riqueza total de 20 espécies de samambaias inventariadas.

O interior do sítio Macaco Branco registrou menor abertura de dossel em comparação com a sua borda, a maior média de riqueza por forófito bem como a maior riqueza total de samambaias epifíticas. Em um estudo desenvolvido por Silva & Schmitt (2015) com espécies terrícolas, a maior riqueza e cobertura no interior desse sítio também foram observadas, sinalizando que as samambaias podem ser consideradas excelentes bioindicadoras de qualidade ambiental, independente do ambiente preferencial de estabelecimento. Em um trabalho de Bataghin *et al.* (2008) verificou-se que a comunidade epifítica apresentou maior afinidade com os ambientes de interior em floresta com araucária. O aumento da incidência da luz solar nas bordas florestais representa um estresse para espécies de samambaias, que na sua maioria

estão adaptadas aos ambientes com menor luminosidade e, por consequência, mais úmidos (TRYON & TRYON, 1982). De acordo com Kessler *et al.* (2011), a umidade é um fator fundamental para o sucesso dessas plantas, associado a temperaturas e altitudes moderadas. Nesse caso, a abertura de dossel está diretamente relacionada à quantidade de luz que chega aos epífitos e, conseqüentemente, pode alterar a umidade relativa do ar.

A temperatura foi um fator que não variou neste estudo, apesar de muitos trabalhos o apresentarem como um dos mais decisivos para a ocorrência do efeito de borda em ambientes florestais (MURCIA, 1995; SILVA *et al.*, 2011). Fica evidenciado que a temperatura média não foi quesito decisivo para o desencadeamento do efeito de borda na floresta com araucária, contrariando o proposto em outros estudos, que a indicam como mais elevada em bordas florestais; nesse caso, aparentemente outros elementos são responsáveis pelas modificações nas bordas. Haddad *et al.* (2015) relatam que estudos experimentais revelam que a fragmentação possui vários efeitos simultâneos que se entrelaçam de forma complexa e operam em escalas de tempo potencialmente prolongados. Nesse sentido, nem sempre os fatores que influenciam determinada área florestal com certa fitofisionomia serão os mesmos que atuarão em outra.

Considerando que no interior do sítio Cravina a intensidade do vento foi menor, a umidade do ar maior e o dossel da floresta mais fechado, era esperado que a riqueza média e cobertura de epífitos fosse mais elevada do que na sua borda. Apesar de autores sugerirem que os efeitos de borda podem ser percebidos a distâncias de 10 a 20 m (ESSEEN & RENHORN, 1998), existem outros que citam 500 m de influência (LAURENCE, 1991). Nossos resultados indicam que no sítio Cravina a comunidade de samambaias epifíticas continua sob efeito de borda, mesmo a uma distância de 100 m em direção ao interior do fragmento.

Fragmentos florestais são frequentemente deteriorados a partir da utilização de pesticidas, queimadas e outras práticas comuns de uso da terra (VIANA *et al.*, 1997). Assim, alguns fatores não considerados neste estudo podem estar influenciando a comunidade de samambaias no sítio, como o *spray* dos agrotóxicos

lançados nas plantações de hortaliças da área lindeira e que, por ação do vento, podem estar sendo carregados ao interior do fragmento, acarretando decréscimo das espécies de samambaias epifíticas e de sua cobertura. Em estudo desenvolvido por Cassanego *et al.* (2010), levando em conta a ação de metais pesados encontrados em herbicidas sobre a germinação de megásporos e desenvolvimento esporofítico inicial de *Regnellidium diphyllum* Lindm., constatou-se o efeito deletério tanto na germinação quanto no desenvolvimento inicial dessa samambaia. Becker *et al.* (2015) verificaram menor diversidade de espécies epifíticas, incluindo samambaias em ambientes com mais concentração de metais pesados.

Apesar de mais vento e luminosidade incidindo no sub-bosque da borda do sítio Cravina, a riqueza foi semelhante entre a borda do Macaco Branco, embora houvesse diferenças na composição e compartilhamento de espécies de samambaias. A estrutura da vegetação também apresentou semelhanças como altura e diâmetro de árvores, corroborando a simplificação que as bordas artificiais causam em bosques com araucária. Tal dado também foi verificado por Silva & Schmitt (2015) para samambaias terrícolas, nas quais as duas bordas analisadas apresentaram diminuição de espécies entre os seus respectivos interiores. Fica evidente tanto para as terrícolas quanto epifíticas que o efeito de borda age na diminuição da riqueza.

O fato de a borda do Macaco Branco estar localizada no interior da unidade de preservação associada a uma estrada que possui não mais do que 5 m de lar-

gura também parece exercer efeito deletério significativo na riqueza de samambaias epifíticas em sua borda. A umidade relativa do ar e a velocidade do vento equivalentes entre a borda e o interior do sítio Macaco Branco podem ser explicadas porque nesse local a borda recebe influência de uma estrada, e adjacente a ela existe um maciço de floresta com araucária bem estabelecido. Nesse caso, a borda sofre um tamponeamento causado pela vegetação. De acordo com Laurence *et al.* (2011), a vegetação natural no entorno de um fragmento tem o potencial de selar as diferenças ambientais, diminuindo, assim, o efeito de borda. Já no sítio Cravina tal evidência não foi verificada, corroborando Aragón *et al.* (2015) quando mencionam que diferentes tipos de matrizes têm efeitos distintos no microclima e vão ao encontro à hipótese de que a magnitude dos efeitos de borda depende do contraste entre a fisionomia da matriz e do fragmento florestal. Um fragmento circundado por uma matriz diferente da original pode eliminar espécies e isolar comunidades, e o sucesso de colonização em áreas adjacentes pode ser limitado pelo fato de o habitat não ser mais propício para o desenvolvimento de samambaias.

Além desses fatores, a idade das bordas deve ser considerada, sendo que, de acordo com Laurence e Vasconcelos (2009), a intensidade dos efeitos pode ser influenciada pelo tempo de criação da borda. Segundo Walker e Sharpe (2010), a perda de habitat, impulsionada por atividades humanas como a fragmentação e o uso inadequado do solo, pode ser considerada a principal causa da diminuição da diversidade de samambaias.

CONCLUSÃO

Neste estudo ficou evidente que a borda florestal apresentando uma matriz de agricultura provavelmente é a responsável pela diminuição das samambaias epifíticas tanto da borda quanto do interior da floresta com araucária. Fica demonstrado que o interior do sítio Cravina apresenta uma equivalência de riqueza com sua respectiva borda, indicando que esse efeito está ultrapassando a marca dos 100 m no interior florestal.

A riqueza e a cobertura de samambaias epifíticas da borda do sítio Macaco Branco foram menores em relação ao seu interior, demonstrando que, por menos intensa que seja a atividade antrópica, tal como a pre-

sença de uma estrada dividindo uma mancha florestal, ocorre o efeito de borda.

Identificar quais elementos antrópicos são responsáveis pela diminuição de espécies é fundamental em florestas que estão fragmentadas. Essas plantas vasculares produtoras de esporos evidentemente respondem aos processos de fragmentação e de efeito de borda. Recomenda-se considerar esse grupo de plantas na avaliação da integridade de florestas de araucária, pois, além de espécies mais sensíveis desaparecerem, outras ruderais e oportunistas tornam-se mais recorrentes, causando simplificação das comunidades.

REFERÊNCIAS

- ARAGÓN, G.; ABUJA, L.; BELINCHÓN, R.; MARTÍNEZ, I. Edge type determines the intensity of forest edge effect on epiphytic communities. *European Journal of Forest Research*, v. 134, p. 443-451, 2015.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. BIOESTAT – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. *ONG Mamiraua*, Belém, 2007.
- BATAGHIN, F. A.; BARROS, F.; PIRES, J. S. R. Distribuição da comunidade de epífitas vasculares em sítios sob diferentes graus de perturbação na Floresta Nacional de Ipanema, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 33, n. 3, p. 501-512, 2010.
- BATAGHIN, F. A.; FIORI, A.; TOPPA, R. H. Efeito de borda sobre epífitas vasculares em Floresta Ombrófila Mista, Rio Grande do Sul, Brasil. *O Mundo da Saúde*, v. 32, n. 329-338, 2008.
- BECKER, D. F. P.; LINDEN, R.; SCHMITT, J. L. Richness, coverage and concentration of heavy metals in vascular epiphytes along an urbanization gradient. *Science of The Total Environment*, v. 584-585, p. 48-54, 2017.
- BECKER, D. F. P.; MÜLLER, A.; SCHMITT, J. L. influência dos forófitos *Dicksonia sellowiana* e *Araucaria angustifolia* sobre a comunidade de epífitas vasculares em Floresta com Araucária. *Floresta*, v. 45, n. 4, p. 781-790, 2015.
- BERNARDI, S.; BUDKE, J. C. Estrutura da sinúsia epifítica e efeito de borda em uma área de transição entre floresta estacional semidecídua e floresta ombrófila mista. *Floresta*, v. 40, n. 1, p. 81-92, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Autorização – Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007.* / Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA, 2007.
- CASSANEGO, M. B. B.; DROSTE, A.; WINDISCH, P.G. Effects of 2,4-D on the germination of megaspores and initial development of *Regnellidium diphyllum* Lindman (Monilophyta, Marsileaceae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 2, n. 70, p. 361-366, 2010.
- ESSEEN, P.; RENHORN, K. Edge effects on an epiphytic lichen in fragmented forests. *Conservation Biology*, v. 12, n. 6, p. 1307-1317, 1998.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Reviews in Ecology. Evolution and Systematics*, v. 34, p. 487-515, 2003.
- FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.* New York: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, 1999.
- GOETZ, M. N. B.; FRAGA, L. L.; SCHMITT, J. L. Florística e aspectos ecológicos de samambaias e licófitas em um parque urbano do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas Botânicas*, v. 63, p. 165-173, 2012.
- GRIME, J. P. Towards a functional description of vegetation. In: WHITE, J. *The population structure of vegetation.* Junk, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 1985. p. 503-514.
- HADDAD, N. M.; BRUDVIG, L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D.; LOVEJOY T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKINS, C. N.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MELBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, J. L.; SONG, D. X.; TOWNSHEND, J. R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2015.

- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, v. 4, 2001.
- HARPER, K. A.; MACDONALD, S. E.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K. D.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D.; JAITEH, M. S.; ESSEN, P. E. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.
- HICKEY, J. E. A floristic comparison of vascular species in tasmanian oldgrowth mixed forest with regeneration resulting from logging and wildfire. *Australian Journal of Botany*, v. 42, n. 4, p. 383-404, 1994.
- HIETZ, P. Diversity and conservation of epiphytes in a changing environment. *Pure and Applied Chemistry*, 1999. Disponível em: <<http://fradnai.free.fr/docs/doc17.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- JOHANSSON, D. R. Vascular epiphytism in Africa. In: LIETH, H.; WERGER, M. J. *Tropical rain forest ecosystems: Ecosystems of the world*. Amsterdã: Elsevier, 1989. v. 14b. p. 7-53.
- KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, v. 5, p. 173-185, 1989.
- KERSTEN, R. A. Epífitos vasculares – Histórico, participação taxonômica e aspectos relevantes, com ênfase na Mata Atlântica. *Hoehnea*, v. 37, n. 1, p. 9-38, 2010.
- KERSTEN, R. A.; KUNIYOSHI, Y. S. Conservação das florestas na bacia do alto Iguazu, Paraná – Avaliação da comunidade de epífitas vasculares em diferentes estágios serais. *Floresta*, v. 39, n. 1, p. 51-66, 2009.
- KERSTEN, R. A.; SILVA, S. M. Florística e estrutura de comunidades de epífitas vasculares da planície litorânea. In: MARQUES, M. C. M.; BRITZ, R. M. *História natural e conservação da Ilha do Mel*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. p. 125-144.
- KERSTEN, R. A.; WAECHTER, J. L. Métodos quantitativos no estudo de comunidades epifíticas. In: FELFILI-FAGG, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso*. Viçosa: Editora da UFV, 2011. v. 1. p. 156-176.
- KESSLER, M.; KLUGE, J.; HEMP, A.; OHLEMULLER, R. A global comparative analysis of elevational species richness patterns of ferns. *Global Ecology Biogeography*, v. 20, p. 868-880, 2011.
- KLEIN, R. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. *Sellowia*, v. 12, p. 17-44, 1960.
- LABIAK, P. H.; PRADO, J. Pteridófitas epífitas da Reserva Volta Velha, Itapoá - Santa Catarina, Brasil. *Boletim do Instituto de Botânica*, v. 11, p. 1-79, 1998.
- LAURANCE, W. F. Edge effects in tropical forest fragments: applications of a model for the design of nature reserves. *Biological Conservation*, v. 57, n. 2, p. 205-219, 1991.
- LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P. C.; WILLIAMSON, G. B.; BENITEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H. L.; VAN HOUTAN, K.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biological Conservation*, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.
- LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 3, p. 434-451, 2009.
- MÄHLER JUNIOR, J. K. F.; LAROCCHA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária. In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEALZANCHET, A. M.; DUTRA, T.; BACKES, A.; GANADO, G. (Eds.). *Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável*. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 243-252.

- MESQUITA, R. C. G.; DELAMÔNICA, P.; LAURANCE, W. F. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*, v. 91, n. 2, p. 129-134, 1999.
- MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.
- PACIENCIA, M. L. B.; PRADO, J. Efeitos de borda sobre a comunidade de pteridófitas na Mata Atlântica da região de Una, sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n. 4, p. 641-653, 2004.
- PACIENCIA, M. L. B.; PRADO, J. Effects of forest fragmentation on pteridophyte diversity in a tropical rain forest in Brazil. *Plant Ecology*, v. 180, n. 1, p. 87-104, 2005.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, v. 11, n. 5, p.1633-1644, 2007.
- PEREIRA, A. F. N.; SILVA, I. A. A.; SANTIAGO, A. C. P.; BARROS, I. C. L. Efeito de borda sobre a comunidade de samambaias em fragmento de floresta atlântica (Bonito, Pernambuco, Brasil). *Interciência*, v. 39, n. 4, p. 281-287, 2014.
- PÉRICO, E.; CEMIN, G.; LIMA, D. F. B.; REMPE, C. Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais... Goiânia: INPE*, 2005. p. 2339-2346.
- PREVEDELLO, J. A.; VIEIRA, M. V. Plantation rows as dispersal routes: a test with didelphid marsupials in the Atlantic Forest, Brazil. *Biological Conservation*, v. 143, n. 1, p. 131-135, 2010.
- PTERIDOPHYTE PHYLOGENY GROUP (PPGI). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, v. 54, n. 6, p. 563-603, 2016.
- ROCHA-URIARTT, L.; BECKER, D. F. P.; GRAEFF, V.; KOCH, N. M.; SCHMITT, J. L. Functional patterns and species diversity of epiphytic vascular spore-producing plants in riparian forests with different vegetation structure from southern Brazil. *Plant Ecology and Evolution*, v. 149, p. 261-271, 2016.
- ROCHA-URIARTT, L.; CASSANEGO, M. B. B.; BECKER, D. F. P.; DROSTE, A.; SCHMITT, J. L. Riparian forest environmental diagnosis: an integrated analysis of botanical and meteorological parameters and of atmospheric air genotoxicity. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 35, p. 102-115, 2015.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, v. 5, n. 1, p. 18-32, 1991.
- SCHNEIDER, P. H.; SCHMITT, J. L. Composition, community structure and vertical distribution of epiphytic ferns on *Alsophila setosa* Kaulf., in a Semideciduous Seasonal Forest, Morro Reuter, RS. *Brazil. Acta Botanica Brasílica*, v. 25, n. 3, p. 557-565, 2011.
- SILVA, I. A. A.; PEREIRA, A. F. N.; BARROS, I. C. L. Edge effects on fern community in an Atlantic Forest remnant of Rio Formoso, PE, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 2, p. 421-430, 2011.
- SILVA, M. M.; GANADE, G.; BACKES, A. Regeneração natural em um remanescente de floresta ombrófila mista, na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas Botânica*, v. 61, p. 259-278, 2010.
- SILVA, V. L.; SCHMITT, J. L. The effects of fragmentation on Araucaria forest: analysis of the fern and lycophyte communities at sites subject to different edge conditions. *Acta Botanica Brasílica*, Belo Horizonte, v. 29, n. 2, p. 223-230, 2015.
- TRYON, R. M.; TRYON, A. F. *Ferns and allied plants with special reference to Tropical America*. Nova York: Springer Verland, 1982. 857 p.

TURNER, I. M.; TAN, H. T. W.; WEE, Y. C.; BIN IBRAHIM, A.; CHEW, P. T.; CORLETT, R. T. A study of plant species extinction in Singapore: lessons of the conservation of tropical biodiversity. *Conservation Biology*, v. 8, n. 3, p. 705-712, 1994.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; BATISTA, J. L. F. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Landscape*. Chicago: University of Chicago Press, 1997. p. 351-365.

WALKER, L.; SHARPE, J. Ferns, disturbance and succession. In: MEHLTRETER, K. V.; WALKER, L. R.; SHARPE, J. M. *Fern Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 177-219.

WILCOVE, D. S.; MCLELLAN, C. H.; DOBSON, A. P. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: SOULÉ, M. E. *Conservation Biology: the scarcity and diversity*. Sunderland: Sinauer, 1986. p. 237-256.

WINDISCH, P. G. *Pteridófitas da região norte-ocidental do Estado de São Paulo: Guia para estudo e excursões*. 2. ed. São José do Rio Preto: Editora da UNESP, 1992. 110 p.

WOLF, J. H. D. The response of epiphytes to anthropogenic disturbance of pine-oak forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, v. 212, n. 1, p. 376-393, 2005.

SETOR SUCROENERGÉTICO: UMA ANÁLISE SOB O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE

SUGAR-ALCOHOL SECTOR: AN ANALYSIS UNDER THE SUSTAINABILITY TRIPOD

Reginaldo Aparecido Verri

Mestre em Tecnologias Limpas pela Unicesumar – Maringá (PR), Brasil.

Rosa Maria Ribeiro

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. Professora da Unicesumar – Maringá (PR), Brasil.

Francielli Gasparotto

Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá. Professora da Unicesumar – Maringá (PR), Brasil.

Endereço para correspondência:

Reginaldo Aparecido Verri –
Rua Argentina, 186 – Centro –
86890-000 – Cambira (PR),
Brasil – E-mail: verri13@gmail.com

Recebido: 25/01/2017

Aceito: 09/07/2017

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho de uma agroindústria do setor sucroenergético, localizada ao Noroeste do Estado do Paraná, em relação aos três aspectos da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. A metodologia foi de natureza qualitativa, com pesquisa exploratória de campo. Os resultados mostram que o setor tem potencial de práticas alicerçadas no desenvolvimento sustentável. No pilar econômico, provou-se desempenho nos negócios com reduções de custos operacionais, emprego de mão de obra regional, aumento da produtividade com as variedades de cana RB e a utilização da agricultura de precisão. Comprovou-se ainda a inclusão social dos trabalhadores, com a qualificação profissional e com programa de moradias. Ambientalmente, refere-se a uma matriz energética renovável, com evolução do corte mecanizado da cana, o que reduz a emissão de CO₂ na atmosfera; destaca-se também pela geração de energia elétrica a partir do resíduo bagaço. Tais iniciativas conferiram à unidade sucroalcooleira certificados ambientais, que atestam seu envolvimento com o tripé da sustentabilidade.

Palavras-chave: açúcar e álcool; bioenergia; sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the performance of an agribusiness in the sugar and ethanol sector, located in the Northwest of Paraná State, in relation to three aspects of sustainability: the environmental, the social and the economic ones. The methodology was qualitative, with exploratory field research. The results show that the sector has practices based on sustainable development, and these practices are embodied in the governance policies of the company. The economic pillar has proven business performance with reductions in operating costs, regional personal workforce, increased productivity and use of precision agriculture. It was proved the social inclusion of workers with professional qualifications and residences program. Environmentally, it refers to a renewable energy matrix, with evolution of the cane cutting, from burning to the mechanized, which reduces the emission of CO₂ in the atmosphere. It is also notable for the generation of electric energy from bagasse residue. These initiatives gave environmental certificates to the sugar- alcohol unit, which attest its concern with the sustainability.

Keywords: sugar-alcohol; bioenergy; sustainability.

INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético no Brasil apresenta grandes avanços tecnológicos que culminam com o desenvolvimento de tecnologias limpas. Contudo, o setor sucroalcooleiro, mesmo apresentando avanços frente às questões ambientais, ainda apresenta alguns aspectos negativos que devem ser mitigados. Os impactos na qualidade do ar, por exemplo, segundo Macedo (2007), dividem-se em dois pontos: o primeiro refere-se ao uso do etanol, que proporciona melhorias consideráveis à qualidade do ar em comparação à queima de combustíveis fósseis em centros urbanizados; e o segundo diz respeito à queimada da palha da cana-de-açúcar no campo, como alternativa de manejo, causando problemas como a dispersão de cinzas e fumaça que afetam negativamente a qualidade do ar e fatores ligados à saúde dos moradores aos arredores dos campos de cultivo.

A prática de queima da palha da cana-de-açúcar, disseminada até anos atrás e usada na colheita manual, tem sido apontada como a responsável por problemas ambientais e de saúde pública, o que levou a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná à Resolução SEMA nº 76, de 20 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a eliminação gradativa da despalha da cana-de-açúcar por meio da queima controlada; o artigo 4º da referida resolução diz que em áreas não-mecanizáveis a utilização da queima controlada deverá ser eliminada até 31 de dezembro de 2030, desde que exista tecnologia viável (PARANÁ, 2010).

Assim, fez-se necessário o aprimoramento das colheiteiras mecanizáveis, o uso de variedades de canas propícias para o corte mecanizado (cana crua) e o estudo da topografia dos terrenos do cultivo da planta, que tem sido um problema na maioria dos canaviais em razão da declividade de várias regiões cultiváveis, além de problemas com adversidades climáticas.

Estudos também têm sido desenvolvidos para avaliar os impactos das práticas aplicadas a esse sistema, apresentados pelos processos de corte manual realizado pós-queimada e de corte mecanizado, os quais inicialmente se depararam com o problema humano – a necessidade de rearranjo de função dos cortadores de cana. As práticas de manejo da palhada da cana-de-açúcar devem ser monitoradas constantemente, uma

vez que influenciam na qualidade do solo e estão diretamente ligadas aos aspectos que contribuem para o desenvolvimento sustentável do processo de produção desse cultivo (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

A sustentabilidade vem ganhando posição de destaque entre os estudos sobre a temática, visto que há um acentuado crescimento de conscientização sobre a necessidade de aprimoramento das condições ambientais, econômicas e sociais (SILVA, 2012).

Percebe-se então que temas como a responsabilidade ambiental interferem diretamente no processo de tomada de decisão organizacional, seja em níveis operacionais e estratégicos durante o desenvolvimento de novos produtos e serviços, que afetam de forma significativa a utilização de recursos naturais em curto prazo, seja com a renovação desses recursos em longo prazo, estendendo-se também a decisões acerca do processo produtivo em relação à proporção de energia e mão de obra que são desperdiçadas, assim como geração de resíduos (SLACK *et al.*, 2008). Essas mudanças por parte das organizações envolvem fatores estratégicos, gerenciais e operacionais, necessitando de aporte tecnológico, que além de solucionar os problemas ambientais, também deve atender aos objetivos socioeconômicos das organizações.

Uma fórmula de gestão para a sustentabilidade, que pode ser adotada pelos empreendimentos do setor sucroenergético assim como por organizações de outros segmentos, é o tripé da sustentabilidade (*triple bottom line*), que proporciona uma análise da atuação de uma organização sob os três pilares da base: social, econômico e ambiental. Esses pilares possibilitam que organizações atinjam seus objetivos de maneira equilibrada perante as questões que as cercam, devendo ser inseridos nas estratégias da organização como um todo, tanto em seu processo decisório quanto ao longo de sua cadeia produtiva.

Para isso, buscam-se as tecnologias limpas (as energias renováveis, por exemplo), a conscientização do consumo que colabora para medidas legais de proteção ambiental, a redução do uso de recursos esgotáveis e a sua substituição por recursos renováveis, fechando assim um ciclo sustentável que se estenderá por todo o ambiente no qual a organização encontra-se inserida.

Assim, o objetivo desse trabalho consistiu em realizar uma verificação do desempenho de uma agroindústria

do setor sucroenergético, localizada no Noroeste do Estado do Paraná, em relação ao tripé da sustentabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo

A usina sucroalcooleira onde foi desenvolvido este estudo está localizada na região Noroeste do Paraná, em uma propriedade particular, a 555 m de altitude em relação ao nível do mar. O clima da região é subtropical temperado com temperatura média anual de 22 °C. O estudo foi aplicado em uma das unidades, situada no bairro Iguatemi, no município de Maringá, pertencente a um grupo familiar. Trata-se de uma empresa brasilei-

ra de capital fechado. Os principais produtos produzidos pelo grupo são açúcar VHP¹, bioetanol (anidro e hidratado) e bioeletricidade; e os subprodutos são bagaço da cana-de-açúcar, vinhaça e creme de levedura. Atualmente, possui dez unidades produtivas distribuídas no Estado do Paraná, no qual se concentra a maior parte de suas atividades, e uma unidade no Estado do Mato Grosso do Sul.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa configura-se como qualitativa, ocorrendo por meio de levantamento de dados e informações na unidade de estudo, para posterior análise. O caráter exploratório e a pesquisa de campo adotados tiveram o intuito de investigar o funcionamento da usina, a fim de definir as variáveis que poderiam nortear o levantamento, sob o olhar do tripé da sustentabilidade, dos dados desse projeto. Para isso, o estudo foi estruturado partindo de uma breve análise geral de todo o grupo empresarial e uma análise mais detalhada de uma das unidades da organização.

industrial em todos os segmentos. Buscou-se também dados de projetos desenvolvidos na região que pudessem afetar diretamente aos trabalhadores da empresa e à comunidade como um todo.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas junto aos gestores das divisões agrícola e administrativa da unidade em estudo, sendo elas realizadas presencialmente em visitas e por disponibilidade de arquivos no período de fevereiro a outubro de 2016.

Na análise geral, foram observados fatores como: estratégia e análise, perfil e atuação e identidade organizacional. Nesse sentido, a análise possibilitou identificar quais são os pilares que sustentam as diretrizes políticas adotadas pela organização, sua origem, visão, missão e valores frente ao seu campo de atuação, assim como o ambiente no qual está inserida.

O levantamento dos dados por meio da entrevista ocorreu mediante um roteiro de assuntos, os quais foram organizados dentro da linha de pesquisa pretendida, alicerçada nas três vertentes da sustentabilidade — consideradas a base de toda cadeia da sustentabilidade —, a partir das quais, posteriormente, outras vertentes foram elaboradas: desempenho econômico, desempenho social e desempenho ambiental.

Na área da unidade em estudo, foram observados aspectos de desempenho econômico, social e ambiental. Por meio da pesquisa documental, direcionada a uma visão da organização na unidade, buscou-se levantar informações junto à unidade administrativa acerca da unidade produtiva em relação ao seu histórico quanto à mecanização da colheita já realizada, aos indicadores de desempenho e aos impactos gerados pelo processo ao trabalhador, ao meio ambiente e à organização

Os pontos norteadores da pesquisa são característicos do setor sucroenergético: as variedades da planta “cana-de-açúcar” nos cultivares da unidade em estudo, sendo indicadas aquelas com maiores proporções; dados sobre cultivares renovados — novos plantios; histórico de mecanização; impactos do processo de mecanização e limpeza da cana crua; quantidade de implementos empregados na mecanização da colheita; quantidade de mão de obra empregada na colheita no corte manual;

¹VHP significa *Very High Polarization*. O VHP é o açúcar bruto, que pode ser transformado em vários tipos de açúcar para consumo. Sua umidade é bem baixa, 0,10%, ideal para exportação.

impacto da mecanização sobre a mão de obra do corte manual; ações sociais desenvolvidas; ações de preservação ambiental; e certificações adquiridas.

No uso da técnica por observação, foram realizadas visitas *in loco* no distrito da central administrativa do grupo

e na unidade industrial, a fim de compreender os processos de produção local e observar o comportamento e as benfeitorias na comunidade inerentes às atividades da usina. Para fechamento, os dados levantados foram analisados e quantificados, auxiliando nas respostas às questões da pesquisa e aos objetivos traçados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Geral das Políticas do Grupo

Na análise geral da usina quanto aos fatores de estratégias e análise, verifica-se que a empresa possui uma metodologia de governança corporativa voltada aos aspectos do desenvolvimento sustentável, apresentada por toda a estrutura organizacional que compõe o plano de negócios da organização, atuando estrategicamente sob enfoque de desempenho econômico, ambiental e social — segundo seu diretor-presidente —, e que podem ser observadas pelas ferramentas utilizadas pela comunicação organizacional e divulgadas por meio de documentos de diretrizes políticas, pelo site corporativo, murais e outros informativos internos e externos.

Em relação ao perfil de atuação, no ano safra de 2014/2015, este foi encerrado com um quadro de 20.938 colaboradores distribuídos em diferentes níveis e unidades que compõem o grupo. O total de área cultivada foi de 64 mil hectares, sendo moídas 18,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, resultando na produção de 1,68 milhões de toneladas de açúcar.

O fator “Identidade Organizacional” apresenta a missão, a visão e os valores do grupo, sendo que os mesmos também apresentam pontos voltados à sustentabilidade, que segundo o relatório de sustentabilidade, são tratados na governança corporativa (USAÇÚCAR, 2015), em que:

- Missão: “Atuar de forma segura e rentável, com produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol, energia elétrica e seus derivados. Atender aos mercados nacionais e internacionais, com responsabilidade socioambiental e contribuição para o desenvolvimento sustentável da companhia e da comunidade”;
- Visão: “Manter-se no mercado sucroenergético sempre entre as maiores do *ranking*, como garantia da remuneração do capital do acionista”.

- Valores: Integração; Resultados; Parceiros e Fornecedores; Prontidão para mudanças; Empreendedorismo e Inovação; Ética e Transparência; Respeito à Vida; Diversidade Humana e Pessoas.

O grupo empresarial também conta com um Comitê de Sustentabilidade, órgão interno cujas ações estão voltadas para o monitoramento de todas as atividades corporativas que garantem a sustentabilidade do todo organizacional, sendo responsável direto pela elaboração do Relatório de Sustentabilidade a cada ano safra.

Nascimento *et al.* 2008 (*apud* FARIAS; MORAES FILHO, 2014) relatam que o planejamento estratégico, alinhado a práticas socioambientais, passou a ser tratado pelas corporações e apontado em literaturas da área a partir dos anos 1980.

Para Melo Neto e Froes (2011), com o passar dos anos, os aspectos socioambientais tornaram-se, para as organizações, um elemento presente no planejamento estratégico, haja vista o grande apelo comercial que os mesmos apresentavam frente às relações com diversos segmentos de públicos-alvo. Diante disso, a comunidade empresarial passou a optar por estratégias administrativas e tecnológicas que contribuam para a redução ou eliminação de problemas sociais e ambientais no meio em que estão inseridas (BARBIERI, 2011).

Para Barbieri (2011), uma organização sustentável é aquela que pratica uma gestão socioambiental, contemplando em suas políticas e estratégias o compromisso para com o crescimento econômico, equilibradas quanto aos aspectos ecológicos e ao progresso social, agregando valor, em longo prazo, a seus proprietários e investidores e contribuindo de forma contínua para a solução dos problemas socioambientais.

Análise da Unidade

Os resultados da análise de uma das unidades do grupo empresarial referem-se aos pilares econômico, social e ambiental, mapeados ao final por suas variáveis de correlação.

Segundo pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a escolha dos tipos de variedades de plantas melhoradas geneticamente afeta significativamente a produtividade e influencia no processo de colheita, devido a suas características e à sustentabilidade do setor. A empresa objeto deste estudo realiza o plantio de diferentes variedades de cana-de-açúcar, sendo elas: RB867515, RB867515, RB966928, RB92579, CTC04 e RB855156.

Os tipos de plantas da cana-de-açúcar utilizadas pela usina, as quais são predominantemente variedades com a sigla RB, referem-se a plantas desenvolvidas pela República Brasileira em centros de pesquisa que fomentam programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar em universidades federais do País e em Centros de Tecnologia Canavieira (CTC), que trata das variedades desenvolvidas.

Segundo dados da Embrapa (2010), a variedade RB867515 — desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais — lançada em 1998, apresenta como característica alto desempenho em produtividade agroindustrial, sendo uma planta com adaptabilidade em solo com índices de baixa fertilidade natural e que possui resistência a estresse hídrico, ou seja, é resistente a solos com baixa capacidade de retenção de água. Essa variedade, aliada ao manejo adequado, possibilita uma colheita antecipada mediante a aplicação de reguladores de crescimento.

Quanto à colheita mecanizada, a variedade RB867515 apresenta bom rendimento — classificado com excelente ou alto desempenho em relação à brotação em solo com acumulação de palha.

Já a variedade RB966928, desenvolvida pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e lançada em 2010, tem como característica médio teor de sacarose e elevada produtividade agrícola. A brotação da soqueira dessa espécie apresenta bom desempenho com o manejo por queima da palhada; sem esse processo, o rendimento não apresenta boa eficiência (RIDESA, 2010).

Em relação à variedade RB92579, também desenvolvida pela UFV e lançada no ano de 2003, a planta apresenta elevado índice de produtividade, assim como ótimo perfilhamento, fechamento da entrelinha e brotação da cana soca, características essas que contribuem significativamente para a longevidade do plantio e para o processo de colheita mecanizada, devido ao seu porte semi-ereto. Essa variedade tem alta resposta a sistemas de irrigação, aproveitamento dos principais nutrientes e ótimo teor de sacarose (UFA, 2016).

O cultivar da variedade CTC04, de 2002 e desenvolvida pelo CTC, apresenta características de alto perfilhamento — sendo as folhas mais novas eretas e as demais arqueadas —, boa produtividade e elevado nível de brotação da soqueira para manejo de cana crua, características que beneficiam a colheita mecanizada (CTC, 2016).

A variedade RB855156, desenvolvida pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), SP, lançada em 1995, possui como características alta precocidade e capacidade de brotação da soqueira, e resistência a pragas como ferrugem e mosaicos. Apresenta ótimo desempenho para o manejo com a queima e para a cana crua durante a colheita. Quanto à produtividade, são observados médio desempenho e alto teor de sacarose. A Figura 1 relaciona os tipos de manejos — entre cana crua e queimada — mais adequados para cada cultivar.

Verifica-se que entre as variedades de cada cultivo, algumas características, quando combinadas ao ambiente no qual será cultivada, tornam a planta mais sustentável, trazendo benefícios quanto à produtividade e ao desempenho. Nesse sentido, as variedades de cultivo RB867515 (que representa 38,20%), RB92579 (4,80%), e CTC04 (3,80%) na unidade em estudo, conforme apresentado, possuem características para melhor desempenho de produtividade e rendimento quanto ao manejo de cana crua, ou seja, sem a queimada da palhada, que é um forte problema ambiental ainda apresentado pelo setor sucroalcooleiro.

A variedade BR855156, utilizada em 3,50% do plantio, possui características de bom desempenho tanto para manejo de cana crua quanto para a queimada da palhada. Já a variedade RB966928, que compõe 29,10% das lavouras, possui melhor desempenho no manejo

pela queimada da palhada, ponto a ser melhorado pela unidade na busca por alternativas mais sustentáveis.

Verifica-se que 20,60% da área plantada são destinadas a diversas outras variedades não identificadas; contudo, é possível identificar os avanços para um processo de manejo mais sustentável da cana-de-açúcar na unidade em estudo por meio da cana crua, visto que 50,60% das variedades identificadas nas plantações da unidade apresentam ótimo desempenho sem o processo de queimada da palhada, por conta do melhoramento genético da planta.

Para Carvalho e Furtado (2013), o Brasil apresenta grande capacidade tecnológica frente aos desafios do setor sucroenergético, e parte dessa capacidade refere-se a programas de melhoramento genético, capaz de atender a exigências legislativas como a redução da queima da cana-de-açúcar, a mecanização e também aspectos relacionados à capacidade de adaptação hídrica da planta mediante a fatores climáticos.

Os autores também relatam que o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar contribui significativamente para aspectos voltados à elevação da produtividade e à redução de custo da produção, criando plantas mais resistentes a pragas e receptivas aos sistemas de plantio e colheita mecanizados.

Outro fator que aponta para a busca da sustentabilidade da unidade de Iguatemi quanto à utilização de plantas com o melhoramento genético é o histórico de renovação das lavouras, que entre 2014 e 2016 renovou 8.565 hectares, correspondentes a 31,33% de

novos plantios do total de 27.050 hectares de área de plantação que a usina possui, sendo: ano de 2014, 5.120 hectares; ano de 2015, 2.500 hectares; ano de 2016, 945 hectares.

Sabendo que a maioria das variedades da planta de cana-de-açúcar cultivadas nas lavouras da unidade de Iguatemi é melhorada geneticamente para manejo enquanto cana crua, o tipo de colheita também acaba sendo diretamente afetado por esse fator, pois cada variedade de cana-de-açúcar apresenta viabilidade distinta aos processos de corte manual e mecanizado. Em relação ao corte manual e à utilização de operações mecanizadas da cana-de-açúcar, a unidade apresenta um histórico de evolução que iniciou no ano de 2008 e se estendeu até 2016 (Figura 2).

Torquato *et al.* (2008) explicam os benefícios do processo de mecanização, pois este possibilita a proteção do solo, melhorias na fertilidade e a redução de incidência de plantas invasoras.

A mecanização da cana crua trouxe alguns pontos negativos, como a redução do teor de açúcar da cana por conta de impurezas, minerais e vegetais. Essas impurezas também acabam exigindo mais do processo industrial da usina, o que gera maior desgaste dos equipamentos e compactação do solo. O supervisor de planejamento da unidade explica que esse tipo de perda não ocorre no processo de colheita manual, visto que, com a queima da palhada, essas impurezas acabam sendo eliminadas durante o processo de colheita pelos trabalhadores. Segundo o supervisor de Plane-

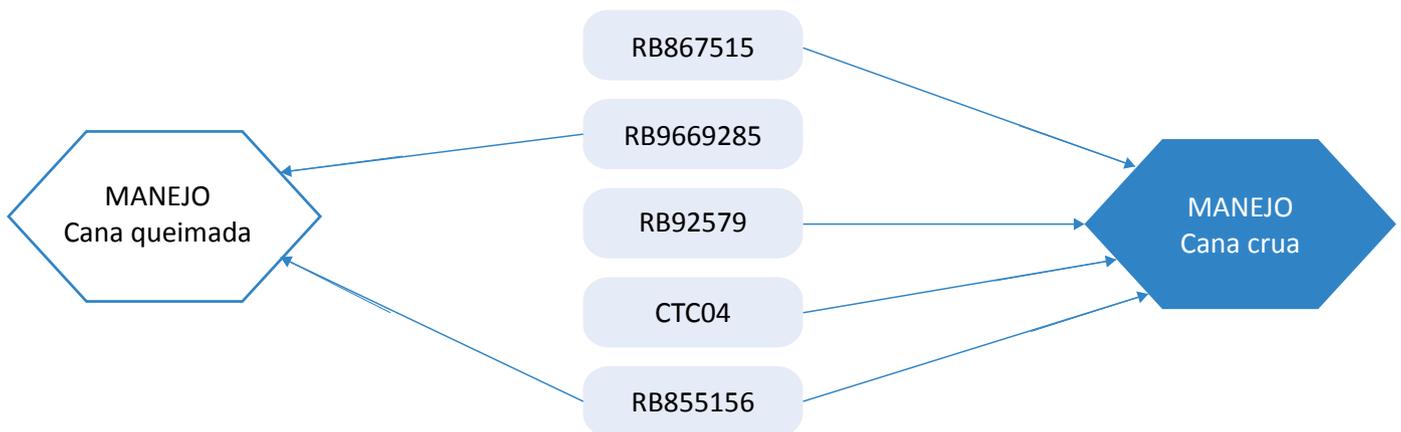


Figura 1 – Variedades de plantas e adaptação ao tipo de manejo.

jamento da unidade, “a limpeza da cana crua ocorre somente pelos extratores das colhedoras (primário e secundário) na indústria, pois não há nenhum sistema de retirada dessas palhas”.

O extrator primário refere-se a um dos principais componentes do sistema de limpeza e descarga da colhedora de cana-de-açúcar, no qual a colheitadeira efetua o corte da planta, seguido de um processo de corte basal, em que a planta é picada em pedaços que variam de 30 a 40 cm. Esses pedaços são direcionados a um compartimento interno do implemento, no qual, por exaustão de ar, a maior parte das impurezas vegetais e minerais é eliminada dos colmos. Após esse processo, os colmos são direcionados para um elevador, que passa pelo extrator secundário, no qual, também por exaustão, há uma nova etapa de limpeza, sendo os mesmos transferidos posteriormente aos transbordos, que transportam os colmos ao processo industrial (KAWAMOT *et al.*, 2016)

No entanto, com a especialização da usina, que foi se adequando às novas tecnologias para a utilização da colheita mecanizada, os problemas inicialmente apresentados — como a perda da qualidade e o desgaste de equipamentos, entre outros fatores — passaram a ser eliminados de forma a apresentar um processo mais eficiente e sustentável da colheita da cana crua, favorecendo a redução da emissão de CO₂ na atmosfera.

O supervisor relata ainda que a unidade possui um balanço energético positivo, o que contribui para um ciclo equilibrado quanto à emissão de CO₂.

Para Torquato *et al.* (2008), a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis é incentivada, principalmente pela redução na emissão de CO₂ e seus efeitos negativos na qualidade do ar. Dessa forma, o processo de queima da cana acaba sendo contraditório frente ao objetivo de redução de emissão de gases, visto que esse processo possibilita elevado nível de emissão de CO₂ na atmosfera.

Ainda conforme dados apresentados pela usina, com o advento da mecanização da colheita da cana-de-açúcar e dentro da análise unidade em estudo, há um custo de R\$ 25,00 em relação ao desempenho econômico por tonelada de cana-de-açúcar em seu processo de colheita para áreas mecanizadas, enquanto esse custo se eleva para R\$ 50,00 por tonelada em relação ao corte manual e à utilização de áreas com o processo de colheita manual. Frente a isso, é evidente que a mecanização da colheita quanto ao custo e ao aspecto econômico, apresenta-se com maior viabilidade financeira e sustentável nesse aspecto.

Embora apresente perdas quando comparada à colheita manual, o processo mecanizado torna-se de menor custo e mais eficiente. Nesse aspecto deve-se considerar, também, que além do bagaço, a palha da cana

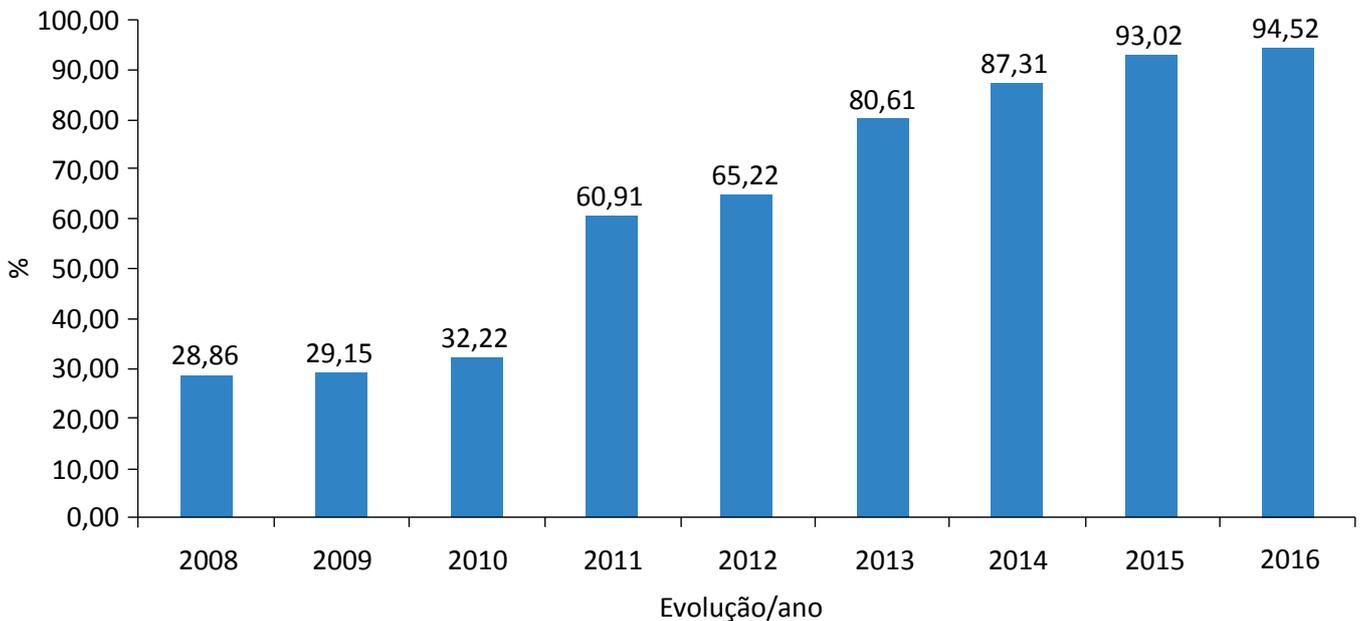


Figura 2 – Evolução das áreas mecanizadas da unidade de estudo.

crua também está sendo utilizada como matéria-prima para a co-geração de energia nas usinas processadoras (TORQUATO *et al.*, 2008, p. 13).

Em relação aos investimentos aplicados para o processo de mecanização, segundo dados apresentados, o investimento inicial necessário para um conjunto mecanizado — ou seja, composto por um colhedora e dois transbordos (sendo trator ou caminhão e arrasto) — somam mais de R\$ 1,5 milhão em investimento por conjunto. Cada conjunto tem a capacidade de colher em média 600 toneladas/dia de cana-de-açúcar, enquanto um trabalhador (cortador) colhe em média 12 toneladas por dia. Ou seja, o rendimento na relação entre conjunto de corte *versus* trabalhador em um dia de trabalho, é na proporção de 1 para 50, demonstrando assim o alto rendimento obtido por meio do corte mecanizado.

No ano de 2016, a unidade atribuiu à colheita da cana crua — 14 colheitadeiras e 36 transbordos, que alternaram entre as áreas a serem colhidas — alcançou a capacidade de colheita de 7.000 toneladas por dia, que se fossem colhidas pelo corte manual, necessitariam do emprego de aproximadamente 584 cortadores em um único dia. Em 2008, período no qual a mecanização da colheita foi iniciada, a usina empregava 850 colaboradores no corte; em 2016, a usina possuía 217 colaboradores no corte, o que corresponde a 25,53% da mão de obra empregada na colheita.

Os 217 cortadores mantidos no ano de 2016 podem chegar a colher aproximadamente 2.604 toneladas em um dia, ou seja, estima-se que a unidade em estudo apresenta capacidade para realizar 27,11% da colheita por corte manual e 72,89% por corte mecanizado. Assim, o processo de mecanização reduziu postos de trabalho de corte manual de cana-de-açúcar, sendo que a esses trabalhadores foi dado o direito de optar por serem redirecionados a outros setores. Em depoimento do gerente operacional da unidade, identificou-se que uns dos motivos, além do ambiental, que levou ao processo de mecanização da colheita é a escassez da mão de obra para a prática desse tipo de manejo.

Vale ressaltar que a mão de obra empregada não é utilizada diariamente durante toda a época de colheita em razão de algumas variáveis, como a rotatividade que ocorre devido aos períodos sazonais de início e término da safra, nos meses de março e dezembro; a assiduidade

e os possíveis remanejamentos para outras áreas interferem diretamente nesses índices, ou seja, os números apresentados são estimados mediante à capacidade total da colheita mecanizada *versus* manual.

Esses índices também justificam a opção de variedades que possuem características favoráveis para ambos os tipos de manejo, uma vez que, conforme a necessidade, a usina opta, de forma estratégica, pela modalidade de corte a ser aplicada dentro de suas áreas, além de também contribuir de forma socialmente responsável, mantendo o emprego de mão de obra mesmo não havendo tal necessidade perante a tecnologia empregada na unidade.

Para Torquato (2013), o mercado de trabalho na atividade sucroalcooleira está vinculado à modernização dos sistemas de processamento da cana-de-açúcar, que eliminam o exaustivo trabalho empregado à mão de obra, mas que também reduz a necessidade da mesma nas atividades de campo, acarretando no desemprego de parte dos cortadores. Esse não é o caso da unidade em estudo, pois, segundo o gestor da divisão agrícola, há um remanejamento dos trabalhadores. Com o avanço da mecanização da colheita nas áreas da usina, atualmente são necessários somente cerca de 20 trabalhadores no processo, distribuídos entre os cargos de chefes, encarregados, operadores de colheitadeira e transbordos, sendo funcionários remanescentes do manejo pelo corte manual da cana-de-açúcar. Essa reposição se deu frente a inúmeros programas de capacitação desenvolvidos pela usina ao longo dos 8 anos durante os quais o processo de mecanização foi implantado.

Segundo o relatório apresentado pela unidade, 223 cursos foram ofertados até 2015 na unidade de estudo; os programas de capacitação foram direcionados à formação para a operação de colheitadeiras, caminhão canavieiro, trator e caminhão pipa, além de outras capacitações direcionadas à formação de eletricitistas e mecânicos para oportunidades geradas dentro da usina, e à formação de lideranças e gestores de pessoas.

Ainda pensando no bem-estar de seus colaboradores, a usina desenvolve um programa de moradias em parceria com a Companhia de Habitação do Paraná e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Até o ano de 2015, o programa atingiu 2.797 famílias de colaboradores em todo o grupo empresarial. Na região da unidade de Iguatemi, foram 249 famílias beneficia-

das. A empresa mantém as casas, que são cedidas em sistema de comodato aos colaboradores e familiares, de acordo com uma análise da situação socioeconômica.

Diante do exposto, é possível observar os ganhos relacionados a fatores sociais, visto que a empresa fomentou o crescimento profissional de 5.437 colaboradores até 2015 em todo o grupo empresarial, oferecendo-lhes outras oportunidades em novos postos de trabalho e, assim, colaborando para que estes buscassem por melhores condições de vida, prosperidade profissional e elevação de sua renda familiar.

Torquato (2013) relata que ocorreu aumento na demanda por mão de obra qualificada, com a finalidade de atender às novas necessidades do processo da colheita mecanizada e de gerenciamento. Com isso, as unidades produtoras tendem a investir mais em treinamento e qualificação dos funcionários, remanejando-os a novas frentes de trabalho e, conseqüentemente, elevando o nível de escolaridade e capacitação.

Essa situação pode ser identificada na usina por meio da implementação de programas de desenvolvimento social relacionados ao Pacto Global, movimento que visa ao desenvolvimento, à implantação e à divulgação de políticas sustentáveis. Esse programa é formado por dez princípios que contemplam os Direitos Humanos, do Trabalho, do Meio Ambiente e o Combate à Corrupção, abordados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse quesito, a empresa apoia projetos do movimento “Nós Podemos Paraná” e do núcleo “Nós Podemos Maringá”, participando mensalmente de círculos de diálogo, como instituições públicas, privadas, não governamentais e líderes da comunidade.

Outras ações buscadas pela empresa estão elencadas no Pacto Global — as Metas do Milênio da ONU —, e referem-se às medidas embasadas em oito objetivos associados a indicadores socioeconômicos:

- acabar com a fome e a miséria;
- oferecer educação básica de qualidade para todos;
- promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres;
- reduzir a mortalidade infantil;
- melhorar a saúde das gestantes;
- combater a Aids, a malária e outras doenças;
- garantir qualidade de vida e respeito ao meio ambiente; e
- estabelecer parcerias para o desenvolvimento.

A usina participou de ações voltadas ao Programa de Desenvolvimento de Políticas Públicas em compromisso aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, do 4º Movimento Nacional pela Cidadania e Solidariedade, movimento mundial que possui a participação de 56 países, realizado em 2014, com o objetivo de reafirmar o pacto e a transição para o programa de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, que passou a ser foco do movimento após o ano de 2015. Na ocasião, a usina, ciente da transição do programa, firmou seu compromisso de atualizar os objetivos do Pacto Global alinhados às estratégias da organização, juntamente com 2.000 organizações da sociedade civil, empresarial, governamental e parceiros do Brasil, com o objetivo de criar metas a serem encaminhadas à ONU em um relatório, para que mesma possa definir uma agenda de ações para o ano de 2016.

Outra medida de fomento a políticas públicas se dá mediante a parcerias formadas entre a usina e outras entidades como a Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP), a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), a Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná (ALCOOLPAR), o Sindicato da Indústria do Açúcar do Estado do Paraná (Siapar), o Sindicato da Indústria de Fabricação de Álcool do Estado do Paraná (Sialpar), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), e participação em sindicatos rurais e trabalhadores rurais na região de atuação.

A usina também conta com ações de desempenho ambiental, como:

- recolhimento de embalagens descartáveis de produtos agroquímicos;
- cogeração de energia;
- programa de melhoria em infraestrutura de estradas rurais;
- programas de conservação a bacias hidrográficas;

- manejo sustentável;
- reutilização das águas; e
- certificações e premiações de cunho ambiental.

O recolhimento de embalagens descartáveis de produtos agroquímicos está em cumprimento a disposições legais acerca da responsabilidade ambiental (Lei nº 7.802/1989); o grupo é associado da Associação dos Produtores de Insumo e Tecnologia Agropecuária (Adita) no Estado do Paraná, entidade que opera no recolhimento de embalagens de insumos agroquímicos. Em 2014, a Adita recolheu 1,4 tonelada de embalagens no Paraná, representando 25% do total do estado; destes, 4% correspondem a recolhimento no grupo, correspondendo a 56.000 kg de embalagens vazias.

A unidade de estudo disponibilizou a quantidade de 15.489 unidades de galões, que corresponde a 5,6% do total geral, e 4.977 unidades de sacas, que corresponde a 1,4% do total acumulado — estas percentagens são relacionadas ao recolhimento total do grupo. O material recolhido pela Adita é destinado a atividades da construção civil, sendo processados e convertidos em matérias-primas de produtos como mangueiras corrugadas, luvas plásticas, cordas, madeiras plásticas, embalagens para óleos lubrificantes, barricas de papelão, sacos para armazenamento de lixo hospitalar, entre outros, que possibilitam a gestão correta na destinação de resíduos sólidos.

As atividades do setor sucroenergético geram um grande volume de resíduos sólidos. De acordo com Cruz *et al.* (2016c), o excedente desses resíduos necessita de adequada destinação, de forma a minimizar os impactos ambientais que esses podem ocasionar ao meio ambiente. As atividades da cana-de-açúcar geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos, sendo os principais deles o bagaço, a torta filtro, a cinza/fuligem e a levedura seca (sólidos), e a vinhaça, as águas residuais e o melaço (líquidos). Os resíduos gasosos são constituídos basicamente de gases poluentes como o CO₂.

O grupo empresarial possui capacidade de cogeração de energia elétrica a partir de 100% da biomassa da cana-de-açúcar. A safra de 2014/2015 atingiu a cogeração de energia de 694.784 megawatts/hora de bioeletricidade, sendo utilizada em consumo próprio e um

excedente comercializado de 368 megawatts. A unidade de estudo na referida safra produziu 10.615 megawatts/hora em cogeração, o que representa 1,53% do total produzido por todo o grupo empresarial.

O consumo total de energia da unidade foi de 11.160 megawatts/hora, sendo comprados somente 545 megawatts/hora de concessionária, o que representa apenas 4,88% do consumo total, tornando os processos mais sustentáveis tanto pelo aspecto ambiental por meio do aproveitamento de subprodutos, quanto do ponto de vista econômico, que apresentou economia nos gastos com a compra de energia termoelétrica, uma vez que 95,12% da energia elétrica necessária às atividades da usina advieram da cogeração.

Entre as fontes de energia renovável existentes, a biomassa é atualmente a que possui maior destaque no Brasil, correspondendo a 15,7 dos 39,4% do total da produção da categoria no país (BRASIL, 2015). Para Rangel *et al.* (2009), o processo de cogeração de energia elétrica a partir da biomassa proporciona benefícios ambientais, reduzindo a emissão de gases poluentes e trazendo benefícios econômicos. Nesse mesmo pensamento, Tomaz *et al.* (2015) descrevem que o setor sucroalcooleiro — fazendo uso de práticas de reaproveitamento do bagaço na cogeração de energia, além de beneficiar a empresa do ponto de vista econômico — também contribui para a preservação ambiental. O processo de cogeração de energia torna-se um diferencial também frente à escassez de chuvas e crises hídricas vivenciadas pelo país, o que representa ainda mais a sustentabilidade do setor.

Entre as práticas de manejo sustentável, a usina é adepta da agricultura de precisão, como medida de proteção e conservação do solo, realizando um preparo do solo profundo e canteirizado. O sistema contribui para a descompactação do solo, assim como para sua longevidade e fertilidade.

Grego *et al.* (2014) relatam que frente aos grandes avanços tecnológicos e à importância econômica do setor sucroenergético, a agricultura de precisão é uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento do setor, visto que ainda existem desafios a serem superados no manejo da cana-de-açúcar, principalmente em decorrência da colheita da cana crua e do acúmulo da palha que fica depositada no solo, entre outros aspectos da compactação do solo.

Assim, como alternativas para resolver esses desafios, uma das formas da utilização da agricultura de precisão ocorre a partir dos cuidados com a compactação do solo e controle de tráfego agrícola. Pesquisas apresentadas por Souza *et al.* (2012) descrevem que, por meio de manejo com controle de tráfego, ocorre a preservação das áreas não trafegadas, contribuindo para o crescimento das plantas e propriedades do solo. No manejo do solo, também são utilizados alguns resíduos do processo de industrialização, como as cinzas, a torta de filtro e a vinhaça, que são incorporados ao local de plantio como um meio de adubação orgânica, não necessitando assim o uso de corretivos químicos no solo.

De acordo com Cacuro e Waldman (2015), as cinzas provenientes das caldeiras são um resíduo encontrado em grandes proporções, gerado pelo processo industrial sucroenergético, mas que pode ser utilizado como adubo nas lavouras da cana-de-açúcar. Entre os benefícios, os autores destacam a utilização das cinzas como corretor de pH do solo, assim como resultados positivos em relação à sua capacidade de retenção hídrica apresentada ao solo mediante seu uso.

Para Vazquez *et al.* (2015), o uso da torta de filtro contribui para a redução de falhas de colmos na linha de plantio da cana, além de apresentar grande retorno econômico quando utilizado em conjunto com alguns tipos de fertilizantes — como os organofosfatados — na cana-planta, tornando-se ainda mais viável seu uso no cultivo da cana-de-açúcar. González *et al.* (2014) também relatam os benefícios da utilização da torta de filtro. Segundo eles, sua utilização, acrescida de fosfato natural e biofertilizantes, ocasiona o aumento da população bacteriana, o que eleva as condições do solo, enriquecendo-o nutricionalmente, não havendo a necessidade de aumentar os tratamentos diretos com biofertilizantes.

Um aspecto sustentável na utilização da fertirrigação ocorre pelo uso da vinhaça no processo. Martins e Oliveira (2015) explicam que essa prática é viável para as usinas, visto que os preços de fertilizantes químicos vêm sofrendo aumentos, o que torna seu custo mais oneroso. O uso da vinhaça, além de ser vantajoso economicamente, também contribui para a longevidade e aumento da produtividade quando aplicados em um manejo controlado, uma vez que, em grades proporções, ela pode causar danos aos plantios e contaminação do solo.

Como alternativas para a destinação de resíduos líquidos, a usina apresenta um circuito de águas fechado, que favorece a reutilização desse recurso no processo industrial. Por exemplo, não há mais a possibilidade de reutilização da água da fase de lavagem da cana e das fases de resfriamento dos sistemas produtivos, logo, ela é destinada a fertirrigação, assim como a vinhaça.

Cruz *et al.* (2016a) explicam que o processo industrial da cana-de-açúcar faz uso de grandes proporções de água, sendo essa uma preocupação do setor. Sua excessiva utilização ocorre principalmente no processo de lavagem, antes da moagem e outras fases de resfriamento. Contudo, as usinas apresentam circuito fechado de águas, fazendo o reúso das mesmas, e quando é não possível, utilizando-as em processos de fertirrigação. Essas práticas fazem com que a utilização de recursos hídricos seja poupada, contribuindo, assim, de forma mais sustentável ao meio ambiente.

Além da utilização de resíduos sólidos e líquidos em seus próprios processos, a usina também contribui com um projeto que destina parte do bagaço da cana a uma central de compostagem, que distribui o composto para o preparo de hortas no município de Maringá, beneficiando 22 hortas comunitárias por meio dessa iniciativa. A usina também conta com um dos dois laboratórios entomológicos, destinado à criação de vespas, que são utilizadas como controle biológico para brocas na cana-de-açúcar (prática utilizada desde 1987). No ano safra de 2015/2016, foram depositados 750.000 copos de vespas nas lavouras.

Arruda *et al.* (2014, p. 69) consideram que o controle biológico é um dos sistemas mais utilizados no Brasil em plantio da cana-de-açúcar devido à ineficiência de sistemas convencionais a partir de produtos químicos: “O controle biológico geralmente é feito com uso de inimigos naturais, que são predadores ou parasitoides das pragas das culturas. No caso da broca, os mais utilizados são a *Cotesia flavipes*, uma vespa de aproximadamente 2 mm que parasita as lagartas”.

Para Suguiyama e Moreira (2015, p. 96), o controle biológico contribui significativamente para uma agricultura sustentável, haja vista a necessidade de práticas agrícolas mais rentáveis e que degradem menos o meio ambiente. Em comparação ao uso de inseticidas altamente prejudiciais à saúde, o controle biológico, além de sustentável, também apresenta melhor custo, tor-

nando-se economicamente mais viável. “A incorporação do controle biológico como parte de um programa integrado de controle de pragas reduz os riscos legais, ambientais e públicos do uso de produtos químicos”.

Para Cruz *et al.* (2016b), o setor sucroenergético mostra seu grande potencial de melhorias nos processos de forma mais sustentável, atreladas às necessidades econômicas. Essas práticas podem ser aplicadas mediante à adequada gestão de resíduos e impactos ao

meio ambiente. Neste sentido, a Figura 3 apresenta o mapeamento dos aspectos da sustentabilidade da usina, conforme suas variáveis correspondentes.

Diante disso, constata-se que a usina apresenta uma gestão sustentável entre suas práticas em todas as suas divisões, abrangendo todo o escopo organizacional. Essas medidas são alicerçadas no viés da sustentabilidade, contribuindo para a sustentabilidade do posto de vista econômico, social e ambiental da empresa.

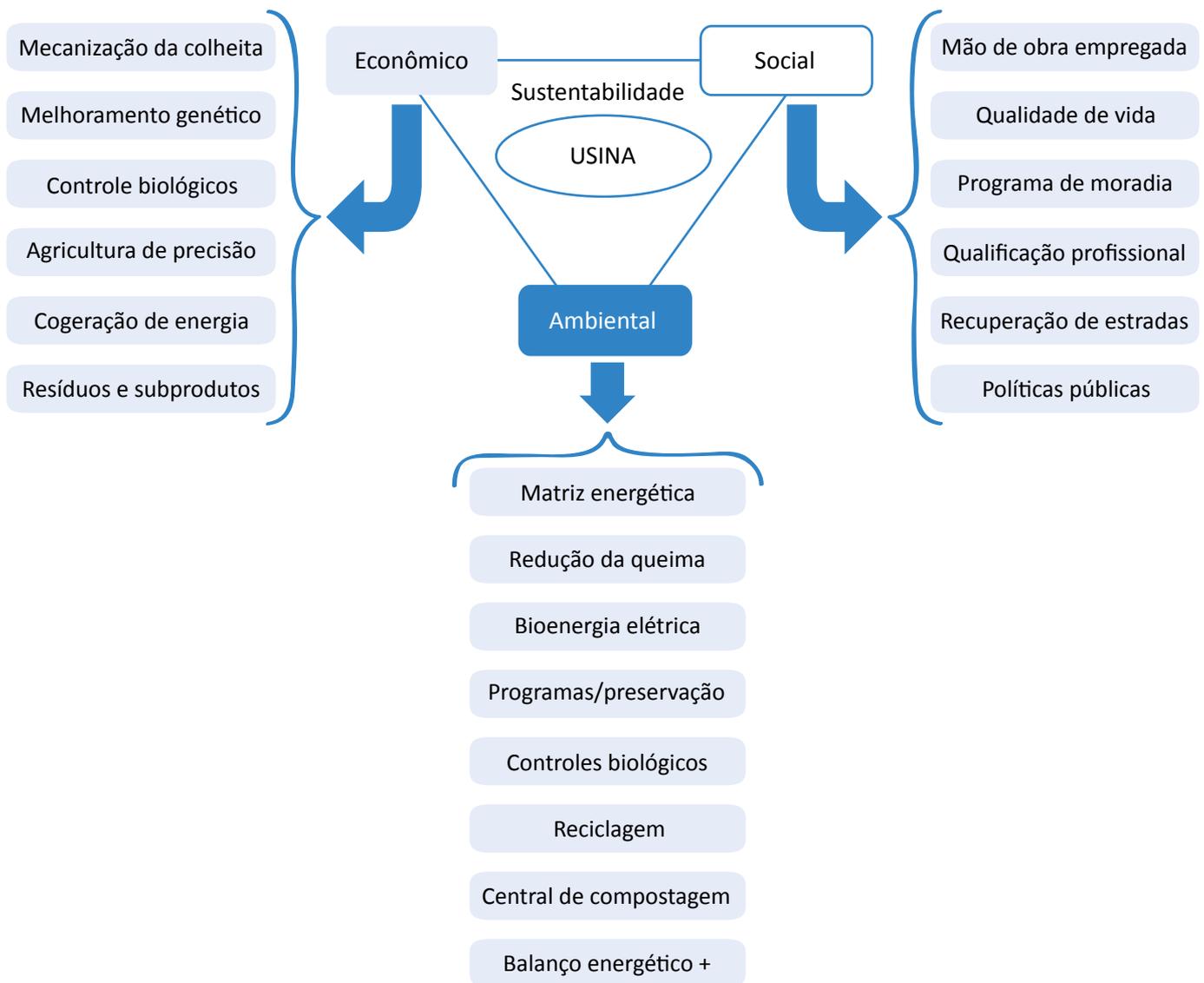


Figura 3 – Mapa da sustentabilidade da unidade de estudo.

CONCLUSÕES

A usina do setor sucroenergético, objeto deste estudo, mostra-se alicerçada no desenvolvimento sustentável.

No pilar econômico, observaram-se medidas que reduzem significativamente os custos operacionais e que elevam a produtividade, como: o melhoramento genético de plantas (predominância da variedade RB); a mecanização proporciona maior rendimento no plantio, na colheita e no manejo em geral; o uso de controle biológico de pragas de menor custo (quando comparado a tratamentos químicos); a utilização da agricultura de precisão na eliminação de desperdícios de recursos e insumos; a cogeração de energia; e o aproveitamento de resíduos e subprodutos da cadeia produtiva, usados como fertilizantes e adubos.

No pilar social, é possível observar o índice de mão de obra empregada na colheita acima da necessidade frente a mecanização, a melhoria na qualidade de vida do colaborador, o programa de moradia oferecido aos colaboradores, a aplicação de diversos programas de qualificação profissional oferecidos, programas de inclusão social e acesso à educação, programas de recuperação de estradas e rodovias utilizadas no setor, e fomento a políticas

públicas socioambientais em parceria com outras entidades governamentais, não governamentais e privadas.

No pilar ambiental, pode-se destacar uma matriz energética renovável. Há uma redução na queima da palhada da cana-de-açúcar que vem se intensificando a cada safra, mitigando, assim, as emissões de CO₂, gás que contribui para o efeito estufa. Possui ainda um sistema para cogeração de bioenergia elétrica, a destinação correta de embalagem para reciclagem e o aproveitamento de subprodutos e resíduos de forma correta, a participação em programas de preservação de bacias hidrográficas e outros voltados à educação ambiental e preservação do meio ambiente. Também conta com central de compostagem e circuito fechado de águas, e faz uso de controle biológico de pragas, reduzindo a aplicação de controles químicos.

Dessa forma, é possível verificar que as empresas do setor sucroenergético podem trilhar o caminho do desenvolvimento organizacional de forma sustentável, por meio de uma governança corporativa que esteja pautada nos pilares econômico, social e ambiental da sustentabilidade, assim como o caso estudado.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, L. A.; LEITE, R. C.; TONQUELSKI, G. V.; BORGES, F. S. P. B.; RODRIGUES, L. A. R. Eficiência do Parasitismo de Três Espécies de Trichogramma (*T. Galloi*, *T. Atopovirilia* e *T. Bruni*) Sobre Ovos da Praga *Diatraea Saccharalis*. *Global Science And Technology*, Rio Verde, v. 7, n. 3, p. 67-75, set./dez. 2014. Disponível em: <<https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/653/432>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. Rio de Janeiro: Saraiva, 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2015+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAas+-+Ing%C3%AAas+%28PDF%29/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.0>>. Acesso em: 9 nov. 2015.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 6, p. 2154-2165, jul. 2015. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v7n6a17.pdf>>. Acesso em: 9 nov. 2016.

CARVALHO, S. A. D.; FURTADO, A. T. O Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar no Brasil e o Desafio das Mudanças Climáticas Globais. *Gestão & Conexões*, v. 2, n. 1, jan./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufes.br/ppgadm/article/view/4909>>. Acesso em: 8 Nov. 2016.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). *Institucional*. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br>>. Acesso em: 1.º nov. 2016.

- CRUZ, I. S. da; ANDRADE, I. C. B.; SOUZA, R. R. de; FACCIOLI, G. G. Efluentes da Indústria Canavieira do Estado de Sergipe. *Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas*, Aracaju, v. 2, n. 2, p. 27-36, out. 2016a. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/exatas/article/view/3237/1882>>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- CRUZ, I. S. da; ANDRADE, I. C. B.; SOUZA, R. R. de; FACCIOLI, G. G. Gestão Ambiental ISO 14001 nas Indústrias Sucroalcooleiras em Sergipe. *Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas*, Aracaju, v. 2, n. 1, p. 51-60, fev. 2016b. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/exatas/article/download/2846/1619>>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- CRUZ, I. S. da; CRUZ, I. S. da; ANDRADE, I. C. B. O Enfoque da Sustentabilidade nas Agroindústria Canavieiras em Sergipe: Gestão Dos Resíduos Sólidos. *GT-8 – Espaços Educativos, Currículo e Formação Docente (Saberes e Práticas)*, v. 9, n. 1, 2016c. Disponível em: <<https://eventos.set.edu.br/index.php/enfope/article/view/2337>>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Árvore do conhecimento – Cana-de-açúcar – Variedades*. 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_141_22122006154842.html>. Acesso em: 1.º nov. 2016.
- FARIAS, C. J. L.; MORAES FILHO, R. A. de. Práticas de responsabilidade socioambiental empresarial nas usinas do setor sucroalcooleiro: estado da arte. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia*, Joaçaba, v. 13, n. 3, p. 859-890, set./dez. 2014. Disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/race/article/download/4734/pdf_53>. Acesso em: 22 jan. 2017.
- GONZÁLEZ, L. C.; PRADO, R. M.; HERNÁNDEZ, A. R.; CAIONE, G.; SELVA, E. P. Uso de Torta de Filtro Enriquecida com Fosfato Natural e Biofertilizantes em Latossolo Vermelho Distrófico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 135-141, abr./jun. 2014. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/pat/v44n2/v44n2a01.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- GREGO, C. R.; ARAUJO, L. S.; VICENTE, L. E.; NOGUEIRA, S. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; VICENTE, A. K.; BRANCALÃO, S. R.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Agricultura de Precisão em Cana-de-açúcar. *Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar*, Embrapa, Brasília, p. 442-457, 2014. Disponível em: <ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113651/1/4223.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2016.
- KAWAMOT, B.; MAMONI, R. F.; TANAKA, E. M.; OLIVEIRA, D. T.; FAVONI, V. A. Quantificação de perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes rotações do exaustor primário. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS, 1., 2016. *Anais...* 2016. Disponível em <www.dracena.unesp.br/Home/Eventos/imast/055.pdf>. Acesso em: 1.º nov. 2016.
- MACEDO, I. de C. (Org.). *A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade*. 2. ed. São Paulo: UNICA, 2007.
- MARTINS, Y. A. M.; OLIVEIRA, C. F. de. Uso da Vinhaça Via Fertirrigação por Sistemas de Irrigação. *Anais UEG*, 2015. Disponível em: <www.anais.ueg.br/index.php/jaueg/article/download/6320/3973>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- MELO NETO, F. P.; FROES, C. *O bem-feito: os novos desafios da gestão de responsabilidade socioambiental sustentável corporativa*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.
- OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n9/v18n09a10.pdf>. Acesso em: 17 set. 2015.
- PARANÁ. Resolução SEMA n.º 76, de 20 de dezembro de 2010. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, n. 8369, 22 dez. 2010.
- RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Hidroenergético. Catálogo nacional de variedade “RB” de cana-de-açúcar. 2010. Disponível em: <<https://ridesa.agro.ufg.br/n/38033-catalogo-nacional-de-variedade-rb-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

RANGEL, L. C.; LOPES, R. da S.; VIEIRA, J. R. Cogeração e Comercialização de Excedentes de Eletricidade em uma Usina Sucroalcooleira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., Salvador, 6 a 9 de out. 2009. *Anais...* 2009. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_093_630_14171.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.

SILVA, D. B. da. Sustentabilidade no Agronegócio: dimensões econômica, social e ambiental. *Comunicação & Mercado*, Dourados, v. 1, n. 3, p. 23-34, jul./dez. 2012. Disponível em: <www.unigran.br/mercado/paginas/arquivos/edicoes/3/3.pdf>. Acesso em: 17 set. 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SOUZA, G. S. de; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 4, p. 603-612, abr. 2012. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/pab/v47n4/47n04a17.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.

SUGUIYAMA, A. M.; MOREIRA, G. C. Mensuração dos custos de laboratório para produção da vespa *Cotesia flavipes* – inimigo natural da broca da cana-de-açúcar na Usina Naviraí S.A.: uma análise comparativa. *iPecege*, v. 1, n. 2, p. 79-97, 2015. Disponível em: <<https://revista.ipecege.org.br/Revista/article/view/14>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

TOMAZ, W. L.; GORDONO, F. S.; SILVA, F. P.; CASTRO, M. D. G.; ESPERIDIÃO, M. Cogeração de Energia a Partir do Bagaço da Cana-de-açúcar: Estudo de Caso Múltiplo no Setor Sucroalcooleiro. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2015. *Anais...* 2015. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/271.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

TORQUATO, S. A. Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 29, set. 2013. Disponível em: <http://abesdn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/29-07_Materia_4_artigos361.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.

TORQUATO, S. A.; FRONZAGILA, T.; MARTINS, R. Colheita Mecanizada e Adequação da Tecnologia nas Regiões Produtoras de Cana-de-açúcar. *Publicações Embrapa*, 2008. Disponível em: <<http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/Ed29.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFA). RB92579 (RB75126 x RB72199) *Variedade desenvolvida pela UFAL* Disponível em: <www.canaufv.com.br/cultivaresRB/RB92579%20.pdf>. Acesso em: 1.º nov. 2016.

USAÇÚCAR. *Relatório de Sustentabilidade 2015*. 2015. Disponível em: <<https://www.usacucar.com.br/verPdf.php?arq=108>>. Acesso em: 9 Nov. 2016.

VAZQUEZ, G. H.; BORTOLIN, R.; VANZELA, L. S.; BONINI, C. S. B.; BONINI NETO, A. Uso de Fertilizante Organofosfatado e Torta de Filtro em Cana-Planta. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 9, n. 1, p. 53-64, 2015. Disponível em: <seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/download/241/222>. Acesso em: 8 nov. 2016.

AS TRANSFORMAÇÕES DO CERRADO EM MORRINHOS (GO): UMA HISTÓRIA NARRADA PELO ASSENTAMENTO TIJUQUEIRO

THE TRANSFORMATIONS OF CERRADO IN MORRINHOS (GO):
A STORY NARRATED BY THE TIJUQUEIRO SETTLEMENT

Ressiliane Ribeiro

Prata-Alonso

Doutora em Ciências Biológicas (Botânica) pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Professora e Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica da Faculdade Araguaia. Vice-Coordenadora do Núcleo de Estudos e Pesquisas sobre Educação Rural no Brasil (NEPERBR/UEG) – Morrinhos (GO), Brasil.

Flávio Reis dos Santos

Doutor em Educação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Professor do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (UEG). Pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisas sobre Educação do Campo (GEPEC/HISTEBR/UFSCar). Coordenador do NEPERBR/UEG – Morrinhos (GO), Brasil.

Endereço para correspondência:

Ressiliane Ribeiro Prata-Alonso – Avenida T-10, 1047, Setor Bueno – 74223-060 – Goiânia (GO), Brasil – E-mail: ressiliane@yahoo.com.br

Recebido: 15/06/2016

Aceito: 06/07/2017

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram identificar o perfil do produtor rural do Assentamento Tijuqueiro (AT) e caracterizar suas concepções sobre o que o Cerrado “era” e as transformações ocorridas de flora e fauna até os dias atuais em Morrinhos, Goiás. Entrevistas não diretas com moradores do referido assentamento, a partir da delimitação da amostra intencional não probabilística realizadas com dez famílias, mostraram que as atividades agropecuárias empreendidas há décadas em Morrinhos contribuem para a diminuição da biodiversidade, com relatos de espécies de plantas e animais não mais visualizadas em decorrência do desmatamento do Cerrado local. Os moradores do AT expressam grande preocupação com a preservação do pouco que restou da vegetação original em Morrinhos e reiteram que é preciso empreender ações imediatas para reverter a deplorável situação desse bioma na região e evitar a expansão da destruição da biodiversidade com a destinação de áreas de reserva florestal em suas propriedades.

Palavras-chave: produtor rural; conservação; agronegócio; ambiente.

ABSTRACT

The objectives of this study were to identify the profile of the rural producers of the Tijuqueiro Settlement (TS) and to characterize their conceptions of what the Cerrado “was” and the changes of flora and fauna to the present day in Morrinhos, Goiás, Brazil. Non-directive interviews with residents of the settlement, from the delimitation of the non-probabilistic intentional sample carried out with ten families, showed that the agricultural activities undertaken for decades in Morrinhos contribute to the reduction of biodiversity, with reports of plants and animals species no longer visualized as a result of deforestation of the local Cerrado. The residents of the ST express great concern about the preservation of the little that remains of the original vegetation in Morrinhos and reiterate that immediate actions must be taken to reverse the deplorable situation of this biome in the region and to avoid the expansion of the destruction of biodiversity with the destination of areas of forest reserves on their properties.

Keywords: rural producers; conservation; agribusiness; environment.

INTRODUÇÃO

O município de Morrinhos, localizado na região sul do estado de Goiás, destaca-se por impulsionar a economia da região ao concentrar a maior parte de suas atividades produtivas em áreas rurais. Possui uma população estimada de 44.607 habitantes, distribuída em uma área territorial de 2.846,199 km², conforme informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). Mais da metade da produção do município (53%) advém do setor agropecuário, no qual se verifica a predominância de associações no uso da terra, destaque para a cultura de soja, milho, arroz, feijão, tomate, mandioca etc. A pecuária apresenta um rebanho de bovinos em torno 250 mil cabeças, tanto destinadas ao corte (carne), quanto à produção leiteira, que ultrapassa a barreira de 60 milhões de litros por ano.

Morrinhos é um dos maiores responsáveis pelo abastecimento de produtos lácteos no estado de Goiás, por meio das atividades produtivas realizadas pela Cooperativa Mista dos Produtores de Leite de Morrinhos (COM-PLM) e de produtos agrícolas cultivados pela Cooperativa dos Agricultores Familiares do Assentamento Tijuqueiro (COOPERFAT), havendo o predomínio das culturas irrigadas de soja, feijão, tomate industrial e milho em áreas que, em passado recente, caracterizavam-se pelo predomínio pleno de vegetação do Cerrado.

A substituição da vegetação natural tem provocado, obviamente, a diminuição da biodiversidade e dos recursos hídricos no município. A situação de devastação do Cerrado causa grande preocupação, e apontamentos efetuados por Carlos Klink e Ricardo Machado (2005) demonstraram que existe correlação entre a perda da diversidade e o endemismo, associados à intensificação dos impactos antrópicos desde a segunda metade do século XX, sobretudo, devido à expansão das atividades agrícolas e pecuárias, que causaram a drástica redução da cobertura vegetal original do Cerrado.

O nível de antropização e degradação da riqueza de espécies e endemismos da região foi o critério principal para inclusão do Cerrado como um dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade global (MYERS *et al.*, 2000; MITTERMEIER *et al.*, 2004). Deve-se, ainda, considerar que o mesmo é a segunda maior província fitogeográfica do Brasil (RIBEIRO & WALTER, 1998), abrangendo as nascentes de importantes rios

brasileiros das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul: Tocantins-Araguaia, Paraná-Prata e São Francisco (FELFILI & SILVA JUNIOR, 2005).

O impacto na diminuição da cobertura vegetal e a degradação de recursos hídricos nas fronteiras agrícolas brasileiras são alvos de discussões na sociedade, que geralmente culminam com consequentes efeitos negativos da apropriação do espaço físico — antes ocupado por recursos nativos — e da intensificação do uso do solo, caracterizados pela emissão de poluentes na atmosfera, assoreamento dos rios, aparecimento de erosões, extinção de algumas espécies da fauna e da flora e destruição de ecossistemas frágeis (ROCHA, 2011).

A ocupação da agropecuária iniciou-se de forma intensa no sul e no sudeste do Brasil. Entretanto, com o esgotamento de terras disponíveis nessas regiões, o direcionamento da produção para áreas de Cerrado no centro-oeste brasileiro tornou-se estratégico pela sua posição geográfica e por suas características físico-ambientais, que propiciavam a expansão da produção agropecuária nos padrões da agricultura moderna, baseada no padrão tecnológico da “Revolução Verde”, que incorporou a mecanização, o melhoramento genético de sementes e a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes químicos (PIRES, 2000; SILVA, 2000; OLIVEIRA & DUARTE, 2004; BRANDÃO *et al.*, 2006; DELLA GIUSTINA & FRANCO, 2014).

A cidade de Morrinhos se projetou em um cenário dinâmico do agronegócio no território goiano, destacando-se no segmento nacional e internacional da agricultura (SANTOS, 2015). Considerando que o produtor rural nesse município vivencia, experimenta e está exposto às transformações do processo de desenvolvimento capitalista e agrário, chegamos ao seguinte questionamento: qual a percepção que os produtores rurais do Assentamento Tijuqueiro (AT), no município de Morrinhos, têm sobre a expansão da produção agropecuária e, conseqüentemente, sobre a diminuição da cobertura vegetal em áreas de Cerrado no sul do estado de Goiás? Sobre essa indagação, os objetivos deste trabalho foram identificar o perfil do produtor rural morador do AT em Morrinhos, Goiás, e caracterizar as suas concepções sobre o que o Cerrado “era” e as transformações ocorridas de flora e fauna até os dias atuais no município.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi empreendida a partir da delimitação da amostra não probabilística intencional (RICHARDSON, 2008). A escolha/definição dos sujeitos participantes do estudo obedeceu aos seguintes critérios/parâmetros:

- ser um produtor rural proprietário de terras e/ou residente no AT, no município de Morrinhos;
- ter idade igual ou superior a 40 anos.

Esclarecemos que o estabelecimento de tais critérios se deveu à necessidade de selecionar sujeito(s) com vivência suficiente para ter podido observar as modificações que vêm ocorrendo no Cerrado há pelo menos 20 anos.

As primeiras informações sobre os possíveis participantes da pesquisa foram obtidas na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Goiás (EMATER/GO), que apontou a presidência do AT como fonte inicial de informações (dados) para que pudéssemos empreender a pesquisa. Presidência, aliás, que prontamente contribuiu para o nosso propósito primeiro, na medida em que especificou os sujeitos que se encaixavam no perfil por nós definido.

A presidência do AT realizou os primeiros contatos, apresentou os nossos propósitos, agendou as primeiras entrevistas e nos apresentou, pessoalmente, aos participantes do estudo. Tal mediação foi de extrema im-

portância para a efetiva realização da pesquisa, pois a apresentação formalizada pela presidência do assentamento junto aos assentados/proprietários estabeleceu uma relação de transparência e de confiança entre esses produtores rurais e os pesquisadores, expressa pela intensidade das informações fornecidas (colhidas).

A maior parte das entrevistas foi realizada nas residências dos sujeitos participantes do estudo. Seguindo as especificações de Roberto Richardson (2008), as coletas de dados foram efetuadas por meio de entrevistas não diretivas, que permitiram aos entrevistados expressar as suas opiniões e informações da maneira que melhor lhes conviesse; e o entrevistador, por sua vez, desempenhou apenas funções de orientação e estimulação.

Para empreender a análise quantitativa, coletamos informações pessoais dos entrevistados, como ano de nascimento, tempo de residência no AT, que atividades agropecuárias desempenham e demais informações que pudessem ser manifestamente importantes para a execução da pesquisa.

Durante os encontros — realização das entrevistas — fizemos uso de gravador de voz e de máquina fotográfica, de acordo com prévia autorização do informante, expressa por meio de assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). As informações obtidas foram analisadas quantitativamente, mediante a consideração de frequência absoluta e relativa, produzidas no programa Microsoft Office Excel® 2013.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Assentamento Tijuqueiro

Atualmente existem três assentamentos rurais no município de Morrinhos: Assentamento Tijuqueiro I (ATI), Assentamento Tijuqueiro II (ATII) e Assentamento São Domingos dos Olhos D'Água (ASD). As áreas de instalação dos dois primeiros assentamentos eram de propriedade do Governo Federal, mais especificamente, do Ministério da Agricultura (1974-1978). A primeira ocupação das referidas áreas ocorreu em 1986, dando origem ao atual ATI, e constitui, de fato, a primeira etapa de formação do AT, com 20 famílias. Propriedade do Governo Federal, a área ocupada somente poderia ser retomada por meio da ação da Polícia Federal, o que não aconteceu à época.

Mais tarde, o Governo Federal, por meio do Ministério da Agricultura, firmou contrato de cessão de parte da área com o Governo do Estado de Goiás, por um período de dez anos, mais especificamente, à Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA). A empresa desenvolvia atividades de seleção de sementes e possuía diversos pivôs centrais na produção de arroz, soja e milho. Entretanto, a EMGOPA acabou por encerrar suas atividades em 1998, sendo absorvida pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Goiás (EMATER/GO).

Vários funcionários, contratados desde a época das pesquisas iniciais empreendidas pela EMGOPA na re-

gião, foram demitidos de seus cargos, sem observância e respeito pleno aos direitos trabalhistas. Alguns trabalhadores buscaram a garantia dos seus direitos na justiça. Outro pequeno grupo, formado por apenas cinco ex-funcionários da EMGOPA, completamente insatisfeitos com a situação em que se encontravam, reuniu-se, somou forças e decidiu “invadir” a área:

Aí foi ondi mandaram todo mundo embora e não queriam acertar e foi onde eu e minha mãe entrô no consenso de reuni o pessoal. [...] já que eles num qué acertar então vamu pegá a terra. Já abriu falência a empresa não dá conta de tocá, nós fica com a terra. (J., 38 anos)

Para que possamos entender com maior facilidade por que trabalhadores decidem fazer parte de ocupações de terra, precisamos considerar que todos estão em busca de assegurar os seus direitos constitucionais e, nesse caso, também trabalhistas, na perspectiva de um futuro melhor, que pode concretizar-se a partir da deflagração de um processo de ocupação da terra (OLIVEIRA, 2007).

A ocupação durou cerca de oito meses, período no qual várias pessoas permaneceram na área da EMGOPA, levantaram acampamento, alojaram-se em tendas e barracas, pressionando o poder público a encaminhar uma solução para os seus problemas. Em meio ao processo de ocupação, o período de cessão das terras ao Governo do Estado de Goiás havia chegado a termo e a área retornou às mãos do Ministério da Agricultura, sendo em seguida transferida ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) — autarquia subordinada ao atual Ministério do Desenvolvimento Agrário —, que realizou o processo de reforma agrária, dando vida ao AT e estendendo o benefício da propriedade da terra (lote) a outros trabalhadores que não somente os ex-funcionários da EMGOPA.

Eu já tinha uns tantos anos eu já nasci aqui dento e o INCRA falou, não, cê tem direito a uma chácara tamém, nós era em 6 pessoas que tinha direito de pegá o chão. (J. G., 55 anos)

Caracterização dos entrevistados

No processo de desenvolvimento da pesquisa, realizamos entrevistas com dez famílias, sendo que quatro entrevistas contaram com a participação do homem e da mulher (casal) proprietários do lote. Destacamos aqui o papel desempenhado pela mu-

O início da ocupação aconteceu em 1998, mas a liberação legal das terras para os futuros moradores transitou pela burocracia administrativa do aparelho do Estado por dois anos e, finalmente, em 2000, os novos proprietários iniciaram as construções de suas casas de alvenaria na área e pagaram para que as terras fossem divididas por igual. A divisão da área beneficiou 15 famílias, que receberam lotes de terras com áreas de 3,5 alqueires e outros de 3,75 alqueires. O aumento na metragem se deveu à ausência de água (rios, ribeirões, lagos, lagoas etc.) em alguns lotes, ou seja, uma pequena compensação em relação àqueles que contavam com tal recurso natural à sua disposição. Essa segunda etapa deu origem ao ATII.

O terceiro assentamento, denominado São Domingos dos Olhos d’Água, está localizado na zona rural de Morrinhos, ocupa a sua porção sudoeste e faz fronteira com o município de Goiatuba. O ASD remete as suas origens à montagem e fixação de um acampamento, que contou com a participação de 85 famílias de trabalhadores rurais no processo de ocupação da antiga Fazenda São Domingos dos Olhos D’Água. Esses trabalhadores empreenderam luta pela posse da terra por sete longos anos, e finalmente a conquistaram em reforma agrária pelo Decreto da Presidência da República do Brasil, publicado aos nove dias do mês de outubro de 1997, legalizando a propriedade dos 85 lotes constituintes do assentamento (SILVA & SANTOS, 2015).

Esclarecemos que a nossa preocupação em apontar a existência do ASD é relevante pois, além de estar contido em território morrinhense, é um dos maiores assentamentos da região. Porém, não compõe o nosso objeto de estudo; as nossas investigações foram concentradas no AT. Aliás, os contatos, as conversas informais e as entrevistas formais em si apontam a edificação de relações orientadas por conceitos de organização, participação e cooperação entre os assentados, que se expressam por meio da associação dos proprietários (moradores) do AT.

lher no AT, pois, além de suas responsabilidades domésticas (cuidados com os filhos, com a casa) e com as atividades de produção no campo, ela também se encarrega da comunicação, articulação e liderança no interior da família.

O trabalho da mulher no assentamento não se restringe aos afazeres do lar. Tal percepção se evidencia nas relações entre marido e mulher, pois sempre que as conversas eram iniciadas, o homem da casa se dirigia à esposa expressando o seu respeito, especialmente quando o assunto se concentrava na organização e no direcionamento das atividades laborais da família. Ao abordar as questões do Cerrado, por exemplo, a mulher deixava o espaço para que o companheiro efetuasse os seus apontamentos e concepções, visto que entendia ser o homem — por seu maior contato e trato direto com a terra — o maior conhecedor do ambiente natural da região.

No desenvolvimento das entrevistas com as outras seis famílias, observamos em algumas ocasiões a presença de um parente e/ou pessoa mais “chegada” (íntima da família), mas em momento algum houve qualquer interferência no desenrolar da conversa. Enfim, entrevistamos 12 moradores do AT, sendo 4 mulheres (34%) e 8 homens (66%). A idade variou bastante, entre 38 e 68 anos para as mulheres e entre 39 e 74 anos para os homens — 33,3% dos sujeitos participantes do sexo masculino possuem idades que variam entre 51 e 70 anos (Tabela 1).

Do número total de entrevistados, a metade (50%) é natural de Morrinhos. Dentre os sujeitos envolvidos diretamente na pesquisa, 41% nasceram em cidades goianas como Buriti Alegre, Uruanã, Fazenda do Nor-

As modificações no Cerrado

A primeira grande evidência observada se remete à homogeneidade na linguagem expressa pelos assentados entrevistados, sendo marcante a forma como expõem os seus conhecimentos sobre as plantas e os animais

te e Aloândia. Apenas 1 assentado (0,9% dos entrevistados) não é natural do estado de Goiás, e nasceu no município de Picos, no estado do Piauí. De acordo com as informações prestadas pelos entrevistados, em média eles vivem há 22,3 anos no AT. Salientamos que somente 3 assentados residem há menos de 20 anos na região, sendo moradores da segunda etapa do AT, que foi mais recente (1998 — ATII).

A principal atividade produtiva do AT está concentrada na pecuária, mais especificamente na produção leiteira, sendo vinculada à Cooperativa dos Agricultores Familiares do Assentamento Tijuqueiro (COOPERFAT) e à empresa Goiasminas Indústria de Laticínios Ltda. (ITALAC®). Os assentados entrevistados produzem e repassam à ITALAC®, diariamente, entre 150 e 300 litros de leite. Alguns, entretanto, chegam a produzir 500 litros/dia. Os trabalhadores rurais do AT também dedicam parte de suas atividades à agricultura, produzindo culturas como milho para silagem, mandioca, abóbora e verduras.

Em pesquisa realizada na bacia do Tijuqueiro, publicada em 2011, Aderbal Rocha apontou que a produção de mais de 70 milhões de litros de leite por ano (naquele momento) colocou o município de Morrinhos na posição de segundo maior produtor leiteiro do estado. O pesquisador destaca, ainda, a importância do rebanho bovino destinado ao corte e à seleção de reprodutores para a economia do município.

característicos do Cerrado; há significativa concordância das informações fornecidas que o Cerrado na região foi modificado pela diminuição da biodiversidade local. O argumento principal, como resposta às modificações

Tabela 1 – Faixa etária e gênero dos sujeitos participantes da pesquisa.

Faixa etária	Feminino	Masculino	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)
30 – 40	1	1	2	16,6
41 – 50	0	1	1	8,4
51 – 60	2	2	4	33,3
61 – 70	1	3	4	33,3
71 – 80	0	1	1	8,4
Total	4	8	12	100

ocorridas, é de que o desmatamento, a devastação do Cerrado, vem ocorrendo há mais de 30 anos, ou seja, quando chegaram à região, a destruição da vegetação natural era realizada em marcha plena.

As experiências e atividades produtivas agrícolas empreendidas pela EMGOPA e, mesmo anteriormente, pelo Ministério da Agricultura, já tinham devastado o que havia de Cerrado na área, sobretudo pela utilização de pivôs centrais. Outros apontam, ainda, que a construção de uma rodovia estadual também contribuiu para a destruição da vegetação natural na região. Estima-se que o desmatamento para a realização das obras da rodovia tenha atingido entre dois e três hectares de mata nativa.

Outras ocorrências se impõem ao Cerrado de um modo geral, como as grandes transformações provocadas por queimadas, seca e intervenções antrópicas como pastagem, agricultura, remoção de árvores para carvão etc. (REZENDE *et al.*, 2005). As nossas preocupações concentram-se nas nefastas consequências produzidas por tais ocorrências, pois impactam diretamente o dinamismo do Cerrado. Ao que a experiência indica, parece não haver possibilidades concretas para a sustentabilidade dessas áreas manejadas, que fragilizam intensivamente o bioma Cerrado e reduzem significativamente a sua biodiversidade.

Diante das informações coletadas, podemos inferir que a maior parte das áreas desmatadas, talvez a sua totalidade, abrigava espécies de plantas e animais não conhecidas pela maioria da população local e, portanto, não foram identificadas (catalogadas) cientificamente. Nesse contexto, são inegáveis as consequências danosas que o desmatamento causa: dano biológico irreversível, irreparável, na medida em que possíveis espécies promissoras para o tratamento e/ou cura de doenças que acometem o homem poderiam ter sido identificadas e aplicadas para tal fim, por exemplo.

Alguns entrevistados, moradores de uma região de baixada do AT, relataram que o acesso a algumas áreas remanescentes de matas nativas era bastante difícil no passado. Argumentaram ainda que, desde a ocupação da área do AT até os dias atuais, a devastação foi mínima se comparada à situação em que a região se encontrava à época que era explorada pela EMGOPA; o estrago já havia sido feito.

Embora haja um discurso similar entre os sujeitos participantes da pesquisa sobre o desmatamento anterior à ocupação, todos demonstraram grande preocupação com a necessidade de preservação do Cerrado. Constatamos em momentos diversos a preocupação dos assentados com a importância de se destinar uma área de cada propriedade à reserva florestal; o que expressa, por si só, a consciência ambiental desses trabalhadores rurais.

Portanto, torna-se evidente a existência de uma concepção que considera a correlação entre a necessidade e a importância da existência de reserva em cada propriedade e transforma em tarefa cotidiana os cuidados com os remanescentes florestais. De acordo com David Pimentel *et al.* (1992), os fragmentos florestais remanescentes em áreas alteradas podem servir como áreas tampões diante da variação microclimática (visto que ajudam a reduzir a perda de água e a ocorrência de erosões) e aumentar a biodiversidade nas áreas de plantações e/ou pastagens.

O entrevistado X. (68 anos) relata que há 40 anos toda a área correspondente ao AT era mata e, à medida que a produção agrícola se expandiu, provocou consequentemente o aumento do desmatamento. Prossegue o nosso entrevistado X. com os seus apontamentos, afirmando que na época da formação do ATII (1998-2000), a área ocupada era parte constituinte da reserva do Ministério da Agricultura.

Os espaços no interior dos assentamentos que possuíam áreas verdes, na realidade, constituíam as áreas de cultivo agrícola desenvolvidas pelos assentados, com vistas, inclusive, a garantir sombra para o gado leiteiro e, também, como reserva legal. Após a ocupação, formação e legalização dos assentamentos ATI e ATII, da área total de 70 alqueires, restaram apenas 9 ou 10 alqueires de vegetação nativa do Cerrado.

Aproximadamente 86% da área original foi transformada em pastagens, ou destinada à produção agrícola, acirrando a discussão sobre a destruição do Cerrado. Vejamos os seguintes fragmentos:

Diminuiu bastante, e vem diminuindo, a flora vem diminuindo cada dia, né? Cada dia o homem é o animal mais terrível que tem, né? Vai diminuindo mesmo. O que Deus gasta 30 anos o homem derruba em 2, 3 dias. (A. L., 39 anos)

Obrigação de cada posseiro é plantar 100 árvores todo ano e aí 15 a 20 anos teria uma reserva, não a que tinha antes, 12 alqueires. Uns 10 a 15 anos. (J. G., 55 anos)

Outro problema apontado se remete ao pisoteio do gado em áreas com nascentes d'água, o que provoca o soterramento e desaparecimento das mesmas, reduzindo a disponibilidade de recurso tão importante (fundamental) nas terras do assentamento. A preocupação com a preservação do meio ambiente é permanente e reflete tanto a sabedoria da relação causa e efeito na natureza, como promove o debate entre os assentados, pois mantém o sinal de alerta aceso em relação à destruição dos recursos naturais e, portanto, do meio ambiente.

A assistência tecnológica no campo é entendida por muitos trabalhadores rurais como um avanço da agropecuária na região. Exemplo do emprego de recursos tecnológicos nas atividades laborais do assentamento é verificado na produção leiteira: há 4 anos eram produzidos 130 litros de leite por dia; atualmente, com a utilização da ordenha mecânica, a produção por dia gira em torno de 350 a 400 litros, um aumento médio de 300% na produção diária.

Contudo, outra parcela de assentados responsabiliza o desenvolvimento tecnológico e o emprego de máquinas no processo produtivo como um dos grandes responsáveis pela expansão indiscriminada do desmatamento. Em passado recente, o que demandava exclusivamente a força de trabalho do homem, agora se realiza facilmente com a utilização de tratores de última geração no trabalho rural.

Diante da submissão do Cerrado à ação da motosserra, do fogo, da destoca com lâmina e da gradagem, a sustentabilidade das formações vegetais desse bioma precisa ser assegurada, é preciso promover o estabelecimento da regeneração natural de espécies após a ocorrência de tantos distúrbios.

Alba Rezende *et al.* (2005) afirmam que esse bioma vem conseguindo recuperar a sua riqueza florística, o que pode caracterizá-lo como um sistema resiliente que, ao ser modificado por distúrbios externos, retorna à sua condição de equilíbrio original de forma gradativa. Manoel Guariguata e Juan Dupuy (1979) argumentam que a compactação do solo decorrente da utilização frequente de máquinas e/ou sistemas me-

canizados dificulta o desenvolvimento da flora e causa atraso no processo regenerativo.

As nossas inquietações a respeito da regeneração do Cerrado suscitam o seguinte questionamento: mesmo que o bioma Cerrado apresente resiliência em sua recuperação natural, será mesmo que os produtores rurais respeitarão a relação espaço-tempo para que tal processo regenerativo se concretize?

Outro aspecto abordado pelos assentados e encarado como positivo diz respeito à adubação artificial com a utilização de fertilizantes químicos, pois se tornou possível cultivar determinados tipos de grãos nunca praticados na produção agrícola do Cerrado, conforme argumenta D. G. (63 anos):

E daí foi isso, chegou fazendo as lavoura e umas pessoas até chamam que o arroz passou a ser o desbravador do cerrado. É isso, a transformação veio o desmatamento, vem a tecnologia, vem plantio, vem muito produto, adubo, lembro da primeira lavoura de adubo que eu vi de arroz, começou a plantar arroz no cerrado mesmo, terra vermelha não se plantava arroz, aí nos plantamo, primeiro arroz que eu vi plantar cuida e colhe o arroz, mas muito fraco, dava pouco, o rendimento pequeno. Daí uns tempos um parente meu plantou, mas eu não sabia, passei no meio daquela lavoura depois de colhido e assustei com aquela lavoura, o tanto que ela tinha sido boa um arroz, bom demais e perguntei alguém o que o Manoel fez com aquele arroz que ele ficou bom demais, me falaram que é porque ele tinha usado adubo, mas eu não sabia o que era adubo, e perguntei o que era isso porque não conhecia, aí me falaram que é um produto que tinha colocado no pé do arroz que ele cresce demais e desenvolve demais. Aí foi crescendo adubo para fazer correção de solo, e tudo isso foi acontecendo e o desbravamento do cerrado se deu aí, mas foi muito maquinário, muito maquinário, aí desmatou mesmo [...]. (D. G., 63 anos)

Esse relato, em si, expressa o papel desempenhado pela modernização e expansão da agricultura no processo de destruição do Cerrado; não apenas expressa a ocorrência do desmatamento, mas também o abandono e a consequente desintegração da produção agrícola tradicional, reforçada pelo crescimento do êxodo rural. De acordo com os sujeitos participantes desta pesquisa, muitos trabalhadores rurais perderam seus empregos em virtude da introdução das máquinas no processo produtivo agropecuário.

As grandes fazendas possuíam os denominados agregados ou meeiros, encarregados do trabalho geral nessas terras, que recebiam uma parte da terra para trabalhar e a outra parte para produzir para os grandes fazendeiros. Quando as máquinas chegaram ao campo, os fazendeiros simplesmente dispensaram essa mão de obra. Os agregados e meeiros foram obrigados a deixar as terras que tinham cultivado e perderam tudo que produziram com o seu trabalho. A maior incidência de êxodo rural no município de Morrinhos foi verificada na década de 1960, momento em que muitos agricultores deixaram o campo em busca de novas oportunidades na cidade.

Na esteira das transformações ocorridas em Morrinhos, Rildo Costa e Flávia Santos (2010) apontam as mudanças implementadas no processo produtivo da soja no estado de Goiás, que passou a ser realizado, sobretudo, em médias e grandes propriedades rurais com a intensa utilização de máquinas e insumos químicos em substituição à mão de obra do trabalhador rural. Eliminação de mão de obra que incidiu na desintegração da agricultura familiar, na medida em que os pequenos produtores, sem condições de subsistir, buscaram a vida na cidade. Um verdadeiro holocausto para a sustentabilidade. Atualmente observamos um movimento na direção contrária: a busca pelo desenvolvimento sustentável, ainda que tímida em nosso país. A manutenção da agricultura familiar tem ganhado espaço, como perspectiva de um *continuum* para a preservação dos recursos naturais.

O processo de mapeamento dos solos com o auxílio do sensoriamento remoto para o monitoramento e manejo das propriedades rurais também contribuiu substancialmente para a devastação do Cerrado e tem sido apontado como responsável pela fragmentação da vegetação nativa, devido às grandes extensões utilizadas nas atividades produtivas agropecuárias na atualidade, à insuficiência e/ou ausência de planejamento preventivo de impactos negativos que o acompanha; bem como aos efeitos diretos e indiretos gerados por tal processo, como a poluição das águas, da atmosfera, a compactação dos solos e a erosão, dentre outros (FARIA & CASTRO, 2007).

Outro grande problema constatado no desenvolvimento da pesquisa, para além das áreas já desmatadas, é o crescimento do corte de madeira nativa para a construção ci-

vil, para a edificação de cercas (mourão) e para a queima (lenha/carvão). A solução se encaminhou — por boa parte dos produtores rurais — para a plantação de eucalipto, tendo em vista evitar a retirada de madeira da mata.

Observamos uma interessante distinção das áreas de Cerrado na concepção dos assentados: a primeira diz respeito aos campos limpos e de baixa fertilidade, que ocorrem em áreas acidentadas como vales e baixadas; a segunda concepção se remete às terras ricas e férteis, denominadas de “mato”, ou de “cultura”, onde são encontradas as madeiras de lei — jatobá e aroeira. “Cerrado é diferente de mato. Cerrado é um mato baixo de madeira ruim. E o mato é de madeira boa” (J. B., 54 anos).

Ocupamo-nos, ainda, em listar todas as espécies vegetais e animais citadas pelos sujeitos participantes da pesquisa. As espécies estão dispostas por seus nomes populares nas Tabelas 2 e 3, contudo, não houve observação *in loco* dos exemplares, pois as citações foram baseadas nas histórias de vida, nas lembranças pessoais dos entrevistados de um passado em que o Cerrado era formado por diversificados componentes da flora e da fauna.

Os nomes científicos listados foram pesquisados na literatura básica de plantas e animais nativos do Cerrado brasileiro. Somente duas espécies vegetais, o sorgo e o cipó-quadrado, não apresentam nome científico, visto que o único sorgo listado na literatura é cultivado, porém, na entrevista, a planta foi citada como a árvore de sorgo; e o cipó-quadrado não foi encontrado na literatura. Em excursão pela mata, todos os entrevistados demonstraram amplo conhecimento sobre as plantas que existiam em abundância na região.

As plantas mais citadas como extintas na região de Morrinhos foram: jatobá, angico, aroeira e araticum. Algumas espécies como angico e pau-d'óleo foram apontadas como plantas medicinais, outrora utilizadas como remédio. As plantas frutíferas vinham às lembranças dos entrevistados como algo único e especial e faziam reluzir os olhos ao mesmo tempo em que expressavam no olhar o prazer de colher uma fruta no pé, como a gabiroba, a mangaba e o araticum.

Os assentados, além de apontarem a ocorrência de uma grande diversidade de animais no Cerrado, ainda especificaram alguns traços fundamentais do comportamento de parte deles, como veado (catigueiro), guariba, tamanduá-mirim (meleta), beija-flor, gavião-carcará, quati, paca, cotia, onça-vermelha, onça-preta, caititu e lobo-guará, animais que não são mais vistos na região. Outros, como inhambu, tucano, macaco, capivara, tamanduá-bandeira e jacaré, que eram sempre vistos, hoje são raros, praticamente desapareceram.

O tamanduá-bandeira, o macaco-prego e o lobo-guará estão presentes nas listas das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção (BRASIL, 2014). A vulnerabilidade desses animais na natureza depende do grau

de desmatamento do Cerrado nos próximos anos. As espécies hoje presentes no Cerrado e a categoria vulnerável para elas apresentada, demonstram que, se o avanço da agropecuária e o desmatamento persistirem nos próximos anos, certamente esses animais serão levados à extinção.

Das poucas espécies de aves avistadas no desenvolvimento da pesquisa, apontamos as araras como representativas remanescentes de um grupo que luta insistentemente por sua sobrevivência no Cerrado de Morrinhos, devastado pela intensiva produção agropecuária.

Lamentavelmente, os apontamentos, os relatos, os argumentos expressos pelos sujeitos participantes

Tabela 2 – Espécies vegetais citadas pelos entrevistados.

	Nome comum	Nome científico
1	Jatobá	<i>Hymenaea</i> sp.
2	Angico	<i>Piptadenia</i> sp.
3	Aroeira	<i>Schinus</i> sp.
4	Pequi	<i>Caryocar</i> sp.
5	Carvoeiro	<i>Sclerolobium</i> sp.
6	Capitão	<i>Terminalia</i> sp.
7	Sucupira	<i>Bowdichia</i> sp.
8	Amarelinho	<i>Plathymenia</i> sp.
9	Sorgo	Espécie desconhecida
10	Araticum	<i>Annona</i> sp.
11	Paineira	*
12	Cipó-quadrado	*
13	Guapeba	<i>Chrysophyllum</i> sp.
14	Jacarandá	<i>Jacaranda</i> sp.
15	Gabirola	<i>Campomanesia</i> sp.
16	Mangaba	<i>Hancornia</i> sp.
17	Baru	<i>Dypterix</i> sp.
18	Pau-d'óleo	<i>Copaifera</i> sp.
19	Maria-preta	<i>Solanum</i> sp.
20	Cafezinho	<i>Cordia</i> sp.
21	Angá, Ingá	<i>Inga</i> sp.
22	Ipê	<i>Tabebuia</i> sp.

*como são diversificadas/desconhecidas as espécies dessas plantas no Cerrado não foi especificado o nome científico.

do estudo refletem os prazeres vividos de um Cerrado em tempo ido. De um Cerrado em que era possível e perfeitamente natural apanhar um fruto no interior da “mata”, amplamente povoada por uma diversidade animal riquíssima, praticamente dizimada pela ação destrutiva das atividades produtivas do

capital. Entretanto, são tais lembranças que persistem e insistem em manter viva a preocupação com a preservação dos remanescentes florestais na região de Morrinhos, na perspectiva de conservar o que restou do patrimônio natural denominado Cerrado do Brasil.

Tabela 3 – Espécies animais citadas pelos entrevistados.

	Nome comum	Nome científico
1	Seriema	<i>Cariama cristata</i>
2	Catingueiro	<i>Mazama gouazoubira</i>
3	Arara	*
4	Jaó	<i>Crypturellus undulatus</i>
5	Inhambu	<i>Crypturellus sp.</i>
6	Juriti	<i>Leptotila sp.</i>
7	Tatu	<i>Tolypeutes tricinctus</i>
8	Macaco-guariba	<i>Alouatta fusca</i>
9	Tamanduá-mirim (meleta)	<i>Tamandua tetradactyla</i>
10	Tucano	<i>Ramphastos sp.</i>
11	Beija-flor	*
12	Pica-pau	<i>Celeus sp.</i>
13	Gavião-carcará	<i>Polyborus plancus</i>
14	Macaco-prego	<i>Sapajus sp.</i>
15	Quati	<i>Nasua nasua</i>
16	Paca	<i>Cunicullus paca</i>
17	Cotia	<i>Dasyprocta azarae</i>
18	Capivara	<i>Hydrochaeris hydrochaeris</i>
19	Onça-vermelha	*
20	Caititu	<i>Pecari tajacu</i>
21	Tamanduá-bandeira	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>
22	Lobo-guará	<i>Chrysocyon brachyurus</i>
23	Cascavel	<i>Crotalus sp.</i>
24	Jacaré	*
25	Coelho-do-mato	*
26	Jaguatirica	<i>Leopardus pardalis</i>
27	Onça-preta	*
28	Cachorro-do-mato	<i>Dusicyon thous</i>
29	Gato-do-mato	*
30	Ema	<i>Rhea americana</i>

*como são diversificadas as espécies dessas plantas no Cerrado não foi especificado o nome científico.

CONCLUSÕES

O perfil dos entrevistados nesta pesquisa nos faz crer na importância do papel da mulher moradora do AT; por mais que haja uma separação espacial de trabalho e de gênero no conhecimento das áreas em que vivem esses produtores, na estrutura social as mulheres demonstraram dominância na organização de suas propriedades rurais.

No histórico narrado da construção do AT no município de Morrinhos, observamos uma unanimidade dos relatos que apontam uma devastação já existente na região antes da tomada de terra pelos assentados. Conclui-se, então, que as experiências e atividades produtivas agropecuárias realizadas no município de Morrinhos há muito têm contribuído para dizimar a vegetação natural do Cerrado desde a década de 1960 com a ampliação da utilização de pivôs centrais na produção agrícola, mais especificamente. Assim como a ocorrência de queimadas, tanto os períodos estendidos de seca (decorrentes de fenômenos climáticos) quanto as intervenções antrópicas, que aumentam as áreas de pastagem e de produção agrícola mediante a remoção de árvores, também têm contribuído substancialmente para a devastação do Cerrado.

Na leitura da história de vida dos assentados, a existência ou ausência de uma planta ou animal do Cerrado nos permite afirmar seguramente que inúmeras espécies deixaram de ser conhecidas em decorrência do processo de desmatamento e destruição da vegetação natural do Cerrado. Consequências extremamente maléficas para o meio ambiente e para a humanidade, pois o atendimento permanente às demandas impostas pela economia capitalista tem causado danos irreversíveis, irreparáveis, irremediáveis ao meio natural.

Inferimos ainda que os trabalhadores rurais do AT expressam a sua mais objetiva consciência da atual condição do Cerrado. Suas afirmações e argumentos convergem e expressam a grande preocupação com a urgente necessidade de se preservar o pouco que restou da vegetação natural original na região de Morrinhos. Os assentados do Tijuqueiro reiteram que é preciso empreender ações imediatas, como a destinação de áreas em suas propriedades à criação de reservas florestais — se não para reverter a deplorável situação do Cerrado, pelo menos para que essas ações sirvam para evitar a expansão da destruição.

REFERÊNCIAS

- BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C. de; MARQUES, R. W. da C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. *Economia Aplicada*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 249-266, abr./jun. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ecoa/v10n2/a06v10n2.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BRASIL. *Portaria MMA n.º 443, de 17 de dezembro de 2014*. 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2014/p_mma_443_2014_lista_especies_ameaçadas_extinção.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.
- COSTA, R. A.; SANTOS, F. de O. Expansão agrícola e vulnerabilidade natural do meio físico no sul goiano. *Geografia em Atos*, Presidente Prudente, v. 2, n. 10, jul./dez. 2010. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/view/270>>. Acesso em: 23 set. 2015.
- DELLA GIUSTINA, C. C.; FRANCO, J. L. de A. O Uso Insustentável dos Recursos Naturais no Estado de Goiás: Efeitos da agricultura na conservação do bioma Cerrado. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, Anápolis, v. 3, n. 1, p. 55-65, jan./jul. 2014. Disponível em: <<http://revistas.unievangelica.com.br/index.php/fronteiras/article/view/764/771>>. Acesso em: 27 jun. 2017.
- FARIA, K. M. S.; CASTRO, S. S. Uso da terra e sua relação com os remanescentes de cerrado na alta bacia do rio Araguaia (GO, MT e MS). *Geografia*, Rio Claro, v. 32, n. 3, p. 657-668, set./dez. 2007. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/Karla_Selma_UsodoSoloesuasRelacoes_12127_00313.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

- FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. da. Diversidade alfa e beta no cerrado *sensu strictu*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Orgs.). Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 141-154. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/17_Cap%207.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2017.
- GUARIGUATA, M. R.; DUPUY, J. M. Forest regeneration in abandoned logging in lowland Costa Rica. *Biotropica*, St. Louis, v. 29, n. 1, p. 15-28, 1979.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades@. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=521380&search=|infor%EFicos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: 29 mar. 2015.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, jul. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro>. Acesso em: 26 ago. 2015.
- MITTERMEIER, R. A.; ROBLES GIL, P.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. *Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. Cidade do México: CEMEX/Agrupación Sierra Madre, 2004.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000. Disponível em: <<https://www.nature.com/nature/journal/v403/n6772/pdf/403853a0.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- OLIVEIRA, E. de; DUARTE, L. M. G. Gestão da biodiversidade e produção agrícola: o Cerrado goiano. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v. 21, n. 1, p. 105-142, jan./abr. 2004. Disponível em: <https://biotek.iesa.ufg.br/up/160/o/GEST_O_DA_BIODIVERSIDADE_E_PRODU__O_AGR_COLA.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- OLIVEIRA, M. L. R. de. *Retratos de assentamentos: um estudo de caso em assentamentos rurais formados por migrantes na região do entorno do Distrito Federal*. 212 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: <http://www.riopomba.ifsudestemg.edu.br/portal/sites/default/files/arq_paginas/1tese_marcelo_romarco.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2015.
- PIMENTEL, D.; STACHOW, U.; TAKACS, D. A.; BRUBAKER, H. W.; DUMAS, A. R.; MEANEY, J. J.; O'NEIL, J. A. S.; ONSI, D. E.; CORZILIUS, D. B. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience*, v. 42, n. 5, maio 1992.
- PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. *Sociedade e Cultura*, Goiânia, v. 3, n. 1-2, p. 111-131, jan./dez. 2000. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/703/70312129007.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- REZENDE, A. V.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um cerrado *Sensu stricto*. *Floresta*, Curitiba, v. 35, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/view/2432>>. Acesso em: 23 ago. 2015.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p. 89-166.
- RICHARDSON, R. J. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- ROCHA, A. A. *Monitoramento de agrotóxicos em áreas irrigadas por pivô central na microbacia do Tijunheiro, Município de Morrinhos, Goiás*. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-30092011-095524/en.php>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

SANTOS, M. S. dos. *O processo de modernização da agropecuária e o agronegócio: a dinâmica territorial na microrregião da Meia Ponte e no município de Morrinhos (GO), 1970-2010*. 98 f. Dissertação (Ciências Sociais e Humanidades) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2015. Disponível em: <http://www.cdn.ueg.br/source/teccer/conteudoN/4829/Dissertao_Marlus_TECCER.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2017.

SILVA, A. M.; SANTOS, F. R. Formação educacional e evasão escolar dos alunos da zona rural no município de Morrinhos (GO). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA UEG, 1., Morrinhos, set. 2015. *Caderno de Programação e Resumos...* 2015. Disponível em: <http://www.cdn.ueg.br/source/simposio_internacional_de_historia_da_ueg_166/noticias/21658/CadernodeProgramaoSIH2015_final_1.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2015.

SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. *Caminhos de Geografia*, v. 1, n. 2, p. 24-36, dez. 2000.

ANÁLISE DO COMPONENTE VEGETAL NA ALIMENTAÇÃO DE PEIXES E DA RELAÇÃO COM A DISPERSÃO DE SEMENTES NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

ANALYSIS OF THE VEGETAL COMPONENT IN FISH FEED AND RELATIONSHIP WITH SEED DISPERSAL IN THE PANTANAL MATO-GROSSENSE

Amabilen de Oliveira Furlan

Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte (LIPAN) do Centro de Pesquisa em Limnologia, Biodiversidade e Etnobiologia do Pantanal (CELBE) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Cáceres (MT), Brasil.

Claumir Cesar Muniz

Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte (LIPAN) do Centro de Pesquisa em Limnologia, Biodiversidade e Etnobiologia do Pantanal (CELBE) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Cáceres (MT), Brasil.

Maria Antonia Carniello

Herbário do Pantanal Vali Joana Pott - HPAN. Centro de Pesquisa em Limnologia, Biodiversidade e Etnobiologia do Pantanal (CELBE) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Cáceres-MT, Brasil.

Endereço para correspondência:

Amabilen de Oliveira Furlan – Rua das Anhumas, 169 – Vila Mariana – 78200-000 – Cáceres (MT), Brasil – E-mail: amabilenfurlan@unemat.br

Recebido: 19/07/2016

Aceito: 24/07/2017

RESUMO

Neste estudo, o objetivo foi identificar o componente vegetal responsável pela alimentação de espécies íctias e se essas preservam sementes inteiras no estômago. Foram feitas coletas de *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii* na Estação Ecológica (EE) de Taiamã entre 2014 e 2015, nos períodos de estiagem e cheia do Pantanal Mato-grossense. Realizou-se análise de conteúdo estomacal, empregando os métodos de frequência de ocorrência (Fo%), volume (Vo%) e índice de importância alimentar (IAi). O consumo de itens de origem vegetal é superior ao dos outros recursos, independentemente do período sazonal. Foi ainda verificada a presença de sementes inteiras e fragmentadas de espécies vegetais do ambiente alagável (*Piaractus mesopotamicus*, Fo = 54,60%, e *Brycon hilarii*, Fo = 38,96% para sementes inteiras). As espécies íctias estudadas tendem a herbivoria, e o componente vegetal é o item mais importante da sua dieta. Tais espécies podem ser classificadas como herbívoras, e também são potenciais predadoras e dispersoras de sementes.

Palavras-chave: dieta; ictiocoria; relação interespecífica.

ABSTRACT

In this study, the objective was to record the vegetation in the diet for fish and the preservation capacity of whole seeds in the stomachs of the studied species. *Piaractus mesopotamicus* and *Brycon hilarii* samples were collected in the Ecological Station Taiamã, between 2014 and 2015, during the dry season and full of the Pantanal Mato-grossense. Stomach content was analyzed by the methods frequency of occurrence (Fo%), volume (Vo%) and alimentary importance index (IAi). Consumption of vegetal origin items was higher than that of other items, regardless of seasonal period. It was recorded presence of whole seeds and fragmented seed. (*Piaractus mesopotamicus* had Fo = 54.60% and *Brycon hilarii* Fo = 38.96% for whole seeds). The fish species studied tend to herbivory, and the vegetable component is the most important in the diet. Such species can be classified as herbivores, and are also potential predators and seed dispersers.

Keywords: diet; ichthyochory; interspecific relationship.

INTRODUÇÃO

O Pantanal, área intermitentemente inundada pela bacia do Alto Paraguai e seus tributários, é a maior área úmida do mundo (SILVA *et al.*, 1998; NUNES DA CUNHA *et al.*, 2015), sendo o pulso de inundação um dos mais importantes processos ecológicos da área, responsável pela existência, produtividade e interações da biota na planície inundável. Esse fenômeno previsível e de longa duração gera, ainda, adaptações e estratégias que favorecem o uso eficiente dos recursos da zona de transição aquática/terrestre (JUNK *et al.*, 1989).

Na planície de inundação, a vegetação apresenta adaptação e tolerância a alagamentos temporários e se relaciona estreitamente com a comunidade de peixes, provendo proteção, regulagem do fluxo e da vazão de água, abrigo, manutenção da qualidade da água, filtração e fornecimento de matéria orgânica e substrato (BARRELLA *et al.*, 2001). Essas relações já estão estabelecidas em trabalhos realizados nas áreas úmidas da Amazônia (KUBITZKI & ZIBURSKI, 1994; MAIA, 2001; MAIA & CHALCO, 2002; ANDERSON *et al.*, 2011), sendo alto o consumo de recurso vegetal pelos peixes no período de cheia, com destaque para a relação de frugivoria e dispersão.

Apesar da dispersão de sementes ser um fenômeno ecológico fundamental na manutenção da vida de muitas espécies vegetais, ainda há poucos estudos nessa vertente (FREITAS *et al.*, 2010). É necessária a implementação de mais pesquisas para a melhor compreensão dessas interações, uma vez que, como discutido por Herrera (2002), 90% das espécies vegetais dependem dos vertebrados frugívoros para dispersar as suas sementes. Anderson *et al.* (2009) relatam ainda que os estudos existentes abordam principalmente a dispersão realizada por pássaros, morcegos e macacos, havendo poucos trabalhos com espécies íctias.

Os peixes exercem importante papel, ingerindo frutos e sementes de diversas espécies vegetais das matas inundadas (AYRES, 1995). Sabe-se ainda que, entre os vertebrados frugívoros, são os que deslocam as sementes por maior distância (ANDERSON *et al.*, 2011). A relação entre os indivíduos e os seus vetores de dispersão pode ser tão íntima que estudos realizados em florestas alagáveis da Amazônia mostram que muitas espécies de árvores frutificam na época das cheias, sendo favorecidas pela água para dispersar as suas se-

mentes por hidrocoria e ictiocoria, visto que, após cair nos rios e lagos, podem ser consumidas por diversas espécies de peixes (KUBITZKI & ZIBURSKI, 1994).

Em uma pesquisa com sementes de *Cecropia pachystachya*, (embaúba) recuperadas do trato digestório de *Pterodoras granulosus* (botoado), Pilati *et al.* (1999) verificaram que a porcentagem de germinação foi alta. Esse resultado também foi observado nos trabalhos de Freitas *et al.* (2010) na região amazônica, com a dispersão de *Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb. (ucuúba) realizada por *Auchenipterichthys longimanus* (cachorro-de-padre). Para o Pantanal, Muniz *et al.* (2014) registraram *Piaractus mesopotamicus* como dispersor de sementes de *Alibertia* sp. e *Ficus* cf. *eximia* no período de cheia. Essas sementes ao passarem pelo trato digestório, mantiveram os índices de germinação.

As interações entre as populações são diversificadas e apresentam várias funções. O conhecimento dessas relações é de suma importância para a compreensão da dinâmica e da conservação dos ecossistemas, tendo em vista que florestas tropicais são mantidas por diversos processos ecológicos entre os seus indivíduos (JORDANO *et al.*, 2006) e podem ser afetadas por perturbações antrópicas (JANZEN, 1974). Em estudo recente, foi apontado que os principais riscos à conservação do Pantanal são o desmatamento e o manejo inadequado de terras para a agropecuária (PETRY *et al.*, 2012).

Sendo as áreas úmidas ambientes de interesse de conservação, devido à peculiaridade e à diversidade de seus indivíduos adaptados ao ciclo de inundação e aos inúmeros serviços ecossistêmicos prestados à sociedade (NUNES DA CUNHA *et al.*, 2015), faz-se necessário ampliar o conhecimento sobre a interação de populações e a dinâmica dos ecossistemas alagáveis. Somente com a compreensão dos processos ecológicos responsáveis pela produtividade e biodiversidade existentes nas planícies de inundação é possível promover o uso sustentável dos recursos desse ambiente (RESENDE, 2008). Este estudo teve como objetivo analisar o componente vegetal presente na dieta alimentar de *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887) e *Brycon hilarii* (VALENCIENNES, 1850) e o potencial dessas duas espécies como dispersoras de sementes no Pantanal norte.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Estação Ecológica (EE) de Taimã está localizada no Pantanal Mato-grossense (Figura 1), município de

Cáceres, a 180 km de distância do perímetro urbano, e possui 11.200 hectares de área, abrangendo as

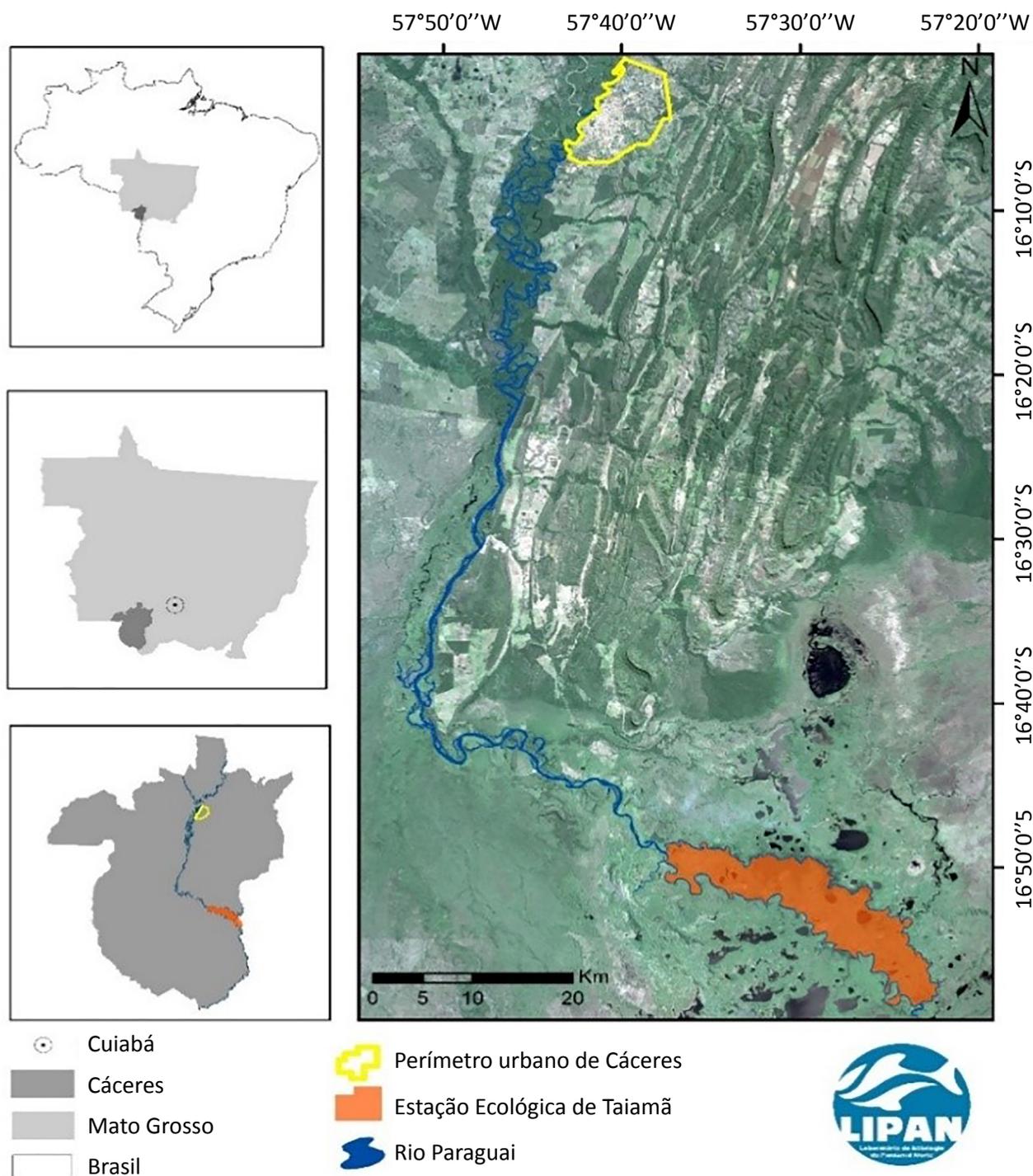


Figura 1 – Área de estudo. Estação Ecológica de Taimã em referência à área urbana de Cáceres, Mato Grosso.

ilhas Taiamã e Sararé, delimitada com a bifurcação do rio Paraguai (BRASIL, 1981). Apresenta temperatura média anual de 26,24°C, com maiores temperaturas no período úmido e duas estações definidas pela distribuição espacial e temporal das chuvas (NEVES *et al.*, 2011).

Toda a área da ilha é influenciada pelo pulso de inundação (JUNK & SILVA, 1999), apresentando campos

Coleta de dados

Os exemplares foram coletados sob a autorização 46161/Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), ao longo dos 30 km iniciais da EE de Taiamã, com retiradas mensais de setembro de 2014 a agosto de 2015, compreendendo os períodos de estiagem e cheia da região. Para a captura dos peixes, utilizaram-se varas de pesca e malhadeiras variando de 40 a 90 mm entre nós. Os indivíduos foram manuseados no laboratório da EE de Taiamã, onde foi possível aferir a biometria (comprimento total, comprimento padrão e peso total) e efetuar a incisão ventral para remoção do estômago.

Os estômagos foram encaminhados para análise no Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte (LIPAN). Verificaram-se 395 órgãos, sendo 270 de *Piaractus mesopotamicus* (pacu) e 125 de *Brycon hilarii*, e registrou-se a frequência de ocorrência (Fo%) dos itens, assim como o volume (Vo%) ocupado por eles em relação ao volume total.

Os itens alimentares foram identificados quanto à origem e agrupados nas categorias: vegetal, animal e detrito. Foi considerado detrito o que não pôde ser identificado quanto à sua origem. Os itens vegetais foram categorizados em: flor, folha, fruto (carpo), semente (inteira e triturada) e fragmento vegetal (contemplando partes consumidas que não se enquadram nas demais categorias, tais como raiz, casca, gavinhas, e fragmentos cuja estrutura não foi possível identificar). A identificação das espécies vegetais foi realizada por meio de bibliografia especializada, consulta a especialistas e coletas botânicas de plantas frutíferas da área de estudo. Tais amostras foram depositadas no Herbário do Pantanal Vali Joana Pott (HPAN).

alagáveis, corixos e lagoas permanentes e temporárias (CARVALHO, 1986). De acordo com o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997), as regiões dos pantanais apresentam relevo e uniformidade topográfica que dificultam o escoamento das águas de superfície, originando inundações periódicas nas quais a flutuação anual do nível da água e o pulso de inundação são os principais fatores que regulam os processos ecológicos (FERNANDES *et al.*, 2010).

As estruturas vegetais foram analisadas com o objetivo de identificar o menor nível taxonômico ao qual pertencem e, após o cálculo da frequência e do volume desses itens, foi aplicado o índice de importância alimentar (IAi), conforme Kawakami & Vazzoler (1980). Segundo esses autores (Equação 1):

$$IAi = (Fi.Vi) / \sum Fi.Vi \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

IAi (%) = índice de importância alimentar;

Fi = frequência de ocorrência do item i;

Vi = volume do item a fim de identificar a importância alimentar por espécie vegetal, independentemente da estrutura vegetal consumida na dieta de *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii*.

Buscou-se registrar o número de espécies que podem ter seus diásporos dispersados pela ictiofauna, identificando a presença de frutos e sementes no conteúdo estomacal da ictiofauna estudada. Sementes não identificadas foram agrupadas, morfotipadas e denominadas A, B, C, D e E.

Considerando o comprimento padrão de *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii*, eles foram divididos em classes de tamanhos diferentes com o objetivo de detectar possíveis relações do comprimento com o consumo de sementes e o potencial dispersor/predador. A relação do consumo de frutos e sementes também foi analisada levando em conta o nível do rio Paraguai, assim como a similaridade entre os itens consumidos por período.

RESULTADOS

As duas espécies estudadas na EE de Taiamã apresentaram hábito onívoro, porém predominantemente herbívoro (*Piaractus mesopotamicus*, Fo = 93,03%, e *Brycon hilarii*, Fo = 80,09% de itens vegetais) (Figura 2). As estruturas vegetais também se revelaram de maior importância na dieta dos indivíduos (*Piaractus mesopotamicus*, IAi = 91,88, e *Brycon hilarii*, IAi = 98,37).

Na dieta de *Piaractus mesopotamicus*, a biomassa de origem vegetal foi a mais consumida, sendo mais frequentes os seguintes itens: folha (Fo = 59,09%); fragmento vegetal (Fo = 22,59%); semente (Fo = 15,31%); flor (Fo = 1,89%); e fruto (Fo = 1,12%). O elevado percentual de folhas registrado está relacionado à grande quantidade consumida de *Aspilia latíssima* Malm (Asteraceae), conhecida localmente por fumeiro (Fo = 36,96%). Essa espécie se mostrou importante na alimentação de *Piaractus mesopotamicus*, sendo consumidos ramos completos com folhas e flores (IAi = 79,09). Os itens mais importantes registrados foram: folhas de espécies não identificadas (IAi = 15,58); detrito orgânico (IAi = 1,80); restos vegetais (IAi = 1,50); *Inga vera* Willd (Fabaceae) (IAi = 0,53); *Calophyllum brasiliense* Cambess (Calophyllaceae) (IAi = 0,28); e *Bactris riparia* Mart (Arecaceae) (IAi = 0,10).

Para *Brycon hilarii* (piraputanga), os itens de origem vegetal também foram os mais consumidos, com maior frequência de: semente (Fo = 80,09%); fragmento vegetal (Fo = 9,84%); fruto (Fo = 4,80%); flor (Fo = 3,80%); e folha (Fo = 1,47%). A espécie mais im-

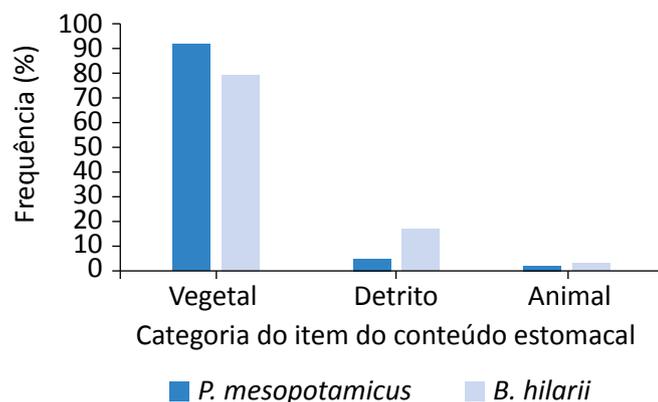


Figura 2 – Ocorrência das categorias de origem dos itens consumidos por *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii*.

portante na alimentação de *Brycon hilarii* foi *Erythrina fusca* (IAi = 76,82). Há ainda registros de: *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae) (IAi = 9,14); fragmentos vegetais (IAi = 4,95); detrito orgânico (IAi = 3,58); e *Inga vera* Willd (Fabaceae) (IAi = 1,78).

Os itens vegetais foram constantes na alimentação de ambas as espécies, porém, aplicando-se o índice de similaridade para os resultados de IAi, verificou-se que há diferença na alimentação delas por período sazonal (Figura 3).

As espécies apresentaram hábitos distintos no período de inundação, mantendo o recurso vegetal predominante, porém, com aumento do consumo de sementes no período de cheia (Figura 4).

Com base nas características dos diásporos, foi possível registrar 12 espécies vegetais cujas sementes são consumidas por *Piaractus mesopotamicus*, entre elas: *Inga vera* Willd (Fabaceae) (inteiras e trituradas); *Bactris riparia* (inteiras e trituradas); *Ficus* sp. (inteiras); *Erythrina fusca* (inteiras e trituradas); *Garcinia* sp. (inteiras); *Cayaponia* sp. (inteiras); e *Calophyllum brasiliense* (inteiras e trituradas). Não foi possível chegar à identificação taxonômica de cinco dos morfotipos das sementes, as quais foram definidas como A, B, C, D e E (todas inteiras).

Na dieta de *Brycon hilarii*, as sementes mais consumidas foram as das espécies: *Erythrina fusca* (inteiras

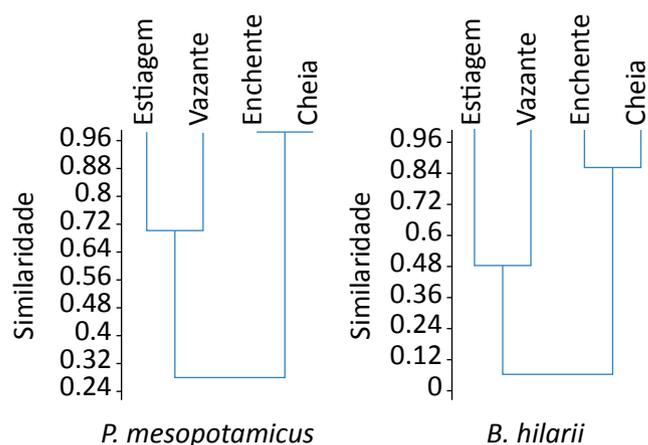


Figura 3 – Similaridade dos valores do índice de importância alimentar para os itens consumidos por período sazonal.

e trituradas) (35,27%): *Bactris riparia* (inteiras); *Calophyllum brasiliense* (inteiras e trituradas); *Ficus* sp. (inteiras); *Garcinia* sp. (inteiras); *Inga vera* Willd (Fabaceae) (inteiras); A (inteiras); e B (inteiras).

O registro de sementes inteiras e trituradas apresentou resultados distintos para as duas espécies

de peixes. Para *Piaractus mesopotamicus*, o número de inteiras foi maior (54,60%) que o de trituradas (45,40%), enquanto para *Brycon hilarii* verificou-se o inverso (38,96 versus 61,04%).

Foi encontrada maior frequência de sementes inteiras em indivíduos maiores de ambas as espécies (Tabela 1).

DISCUSSÃO

Os dados obtidos indicam a importância do componente vegetal para a ictiofauna e reafirmam a natureza onívora/herbívoros de *Piaractus mesopotamicus* e *Brycon hilarii*, como relatado por Resende e Pereira (2000) e Britski *et al.* (2007). Outros estudos também mostraram valores superiores para o consumo de itens de origem vegetal (40,22%) em comparação aos de origem

animal (14,22%) na alimentação de peixes da família Characidae. Souza (2005) e Reys *et al.* (2008) afirmam que a dieta de *Brycon hilarii* é constituída principalmente por itens vegetais (Fo = 75%). Em *Piaractus mesopotamicus*, o recurso mais importante também foi o vegetal, com destaque para os frutos da palmeira *Bactris glaucescens* (Fo = 73%) (GALETTI *et al.*, 2008).

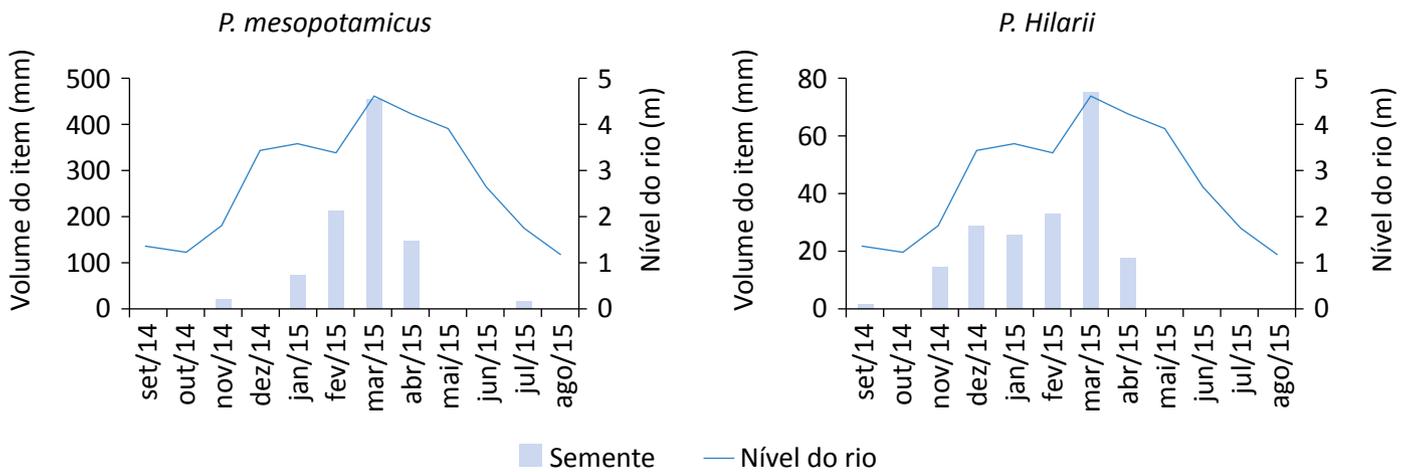


Figura 4 – Consumo de frutos e sementes relacionado ao nível do rio Paraguai entre setembro e agosto de 2014.

Tabela 1 – Frequência de sementes inteiras encontradas nos estômagos dos indivíduos de acordo com a classe de tamanho.

Espécies	Classe (cm)	Fo (%)
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	29 ≥ I ≤ 34	10,48
	34 > I ≤ 39	15,38
	39 > I ≤ 44	33,01
	44 > I ≤ 49	41,13
<i>Brycon hilarii</i>	18 ≥ I ≤ 23	24,56
	23 > I ≤ 28	31,82
	28 > I ≤ 33	43,62

No ambiente alagável, o consumo de material vegetal pelos peixes é elevado, especialmente durante o período de cheia, quando as espécies íctias podem se deslocar entre a vegetação (MAIA & CHALCO, 2002) e há maior diversidade de vegetais disponíveis, como relatado por Pott e Pott (1994).

Estudos realizados com *Brycon* sp. no vale do Cristalino revelaram uma dieta constituída de sementes, frutos e partes vegetais durante os períodos de enchente, cheia e vazante, e de itens de origem animal na época da seca (SILVA, 2007). Neste trabalho, o recurso vegetal foi constante em todos os períodos, embora, como relatado por Motta & Uieda (2004) e Silva (2007), a sazonalidade influencie na oferta alimentar, provocando variações na dieta dos peixes. No período da cheia, as estruturas vegetativas das plantas foram substituídas por frutos e sementes na alimentação de ambas as espécies.

Lowe-McConnel (1987) discute a influência ambiental na determinação dos alimentos disponíveis e chama a atenção para a conservação dessas características, uma vez que alterações antrópicas podem interferir no ambiente e, conseqüentemente, na disponibilidade de recursos para os peixes. Para áreas úmidas que, assim como o Pantanal, têm a sazonalidade marcada pelo pulso de inundação, Junk (1980) enfatizou que mudanças hidrológicas afetam não apenas a quantidade, mas também a qualidade dos recursos.

A presença de frutos e sementes inteiras no trato digestório dos peixes reforça a possibilidade de dispersão das sementes na planície de inundação pelas espécies íctias (MAIA, 1997; MAIA *et al.*, 2007; GALETTI *et al.*, 2008; REYS *et al.*, 2008; ANDERSON *et al.*, 2011; MUNIZ *et al.*, 2014; DAMASCENO *et al.*, 2015).

Na EE de Taiamã, os resultados apresentaram valores superiores (> 70%) para o consumo de frutos e sementes por *Brycon hilarii* do que os encontrados por Reys *et al.* (2008) para a mesma espécie no rio Formoso (< 40%). Os achados, porém, reafirmam a natureza dispersora e predadora dessa espécie para sementes grandes (> 10 mm), apresentando valor alto para sementes trituradas de *Erythrina fusca* e *Calophyllum brasiliense*.

Neste estudo, a presença de sementes inteiras no estômago de *Piaractus mesopotamicus* foi maior quando comparada ao de *Brycon hilarii*, entretanto, com maior

número de espécies que tiveram suas sementes trituradas, como *Bactris riparia*, *Calophyllum brasiliense*, *Erythrina fusca* e *Inga vera* Willd (Fabaceae). Isso pode estar relacionado ao tamanho dos indivíduos. Mesmo possuindo dentição capaz de quebrar frutos duros. Animais maiores carregam quantidade superior de sementes inteiras (GALETTI *et al.*, 2008). Nesse sentido, apesar de *Piaractus mesopotamicus* apresentar maior número de sementes inteiras, *B. hilarii* tem maior capacidade de preservar diásporos de espécies vegetais distintas.

No Pantanal, *Piaractus mesopotamicus* está entre as três espécies de peixes mais capturadas pela pesca profissional e amadora; apenas em 2013 foram retiradas cerca de 32 toneladas dos rios, de acordo com Catella *et al.* (2013). Essa situação pode ter implicações diretas no recrutamento de novas plantas para o ecossistema, visto que Galetti *et al.* (2008) ressaltam que algumas espécies vegetais, como *Bactris glaucescens*, têm sua dispersão quase exclusivamente realizada por pacu, e que animais grandes (> 45 cm) são os que apresentam maior possibilidade de consumir e transportar sementes intactas, embora também sejam os permitidos para captura. Outras ameaças podem ser identificadas nessa relação, uma vez que peixes com medidas de capturas permitidas são os que estão em idade reprodutiva. As espécies estudadas, após explorar a planície de inundação para alimentação, migram para as cabeceiras no processo de reprodução (RESENDE, 2008), momento no qual podem carrear sementes em sentido oposto ao que ocorreria por hidrocoria. Assim, além de termos uma população de peixes pequenos com menor capacidade de transportar sementes inteiras, contamos com animais que não realizam migração para a reprodução.

O recurso vegetal se mostra importante na alimentação de peixes da planície de inundação, sendo esse um ambiente de interesse de conservação para garantir a resiliência do aporte pesqueiro, enquanto a vegetação depende de agentes dispersores efetivos para o deslocamento de suas sementes e a regeneração das matas. Galetti *et al.* (2008) ressaltam que, assim como há algum tempo o processo de dispersão estava ameaçado pelas “florestas vazias”, hoje os “rios vazios” também podem afetar a regeneração de matas ciliares como as da Amazônia e do Pantanal.

Peixes e plantas da planície de inundação apresentam estreita relação ambiental, e medidas de conservação e gestão devem ser elaboradas respeitando as interações entre esses recursos. A manutenção da ictiofauna depende de um ambiente equilibrado e de alimentos disponíveis a partir do estrato vegetal, enquanto esses, no período de frutificação, realizam a dispersão das sementes para outras áreas de colonização. Portanto, tra-

balhos com essa temática devem ser propostos, uma vez que os resultados apontam essa importante relação. Pollux (2011) relata os poucos artigos produzidos, principalmente para o entendimento do processo de ictiocoria, desde a fisiologia do animal até as características dos diásporos consumidos, compreendendo eventos que garantem o sucesso da dispersão por peixes, incluindo a taxa de germinação em ambiente natural.

CONCLUSÃO

A matéria vegetal mostrou-se o principal recurso alimentar das espécies *Brycon hilarii* e *Piaractus mesopotamicus*. Essas espécies de peixes são potenciais dispersoras, uma vez que foram encontradas se-

mentes intactas em seu estômago. Dessa forma, são fundamentais a conservação e a qualidade de ambos os recursos, visto que há dependência mútua entre peixes e plantas no ambiente pantaneiro.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. T.; NUTTLE, T.; ROJAS, J. S. S.; PENDERGAST, T. H.; FLECKER, A. S. Extremely long-distance seed dispersal by an overfished Amazonian frugivore. *The Royal Society*, 2011.
- ANDERSON, J. T.; ROJAS, J. S.; FLECKER, A. S. High-quality seed dispersal by fruit-eating fishes in Amazonian floodplain habitats. *Oecologia*, 2009.
- AYRES, J. M. *As matas de várzea do Mamirauá: médio rio Solimões*. 2. ed. Brasília: CNPq; Tefé: Sociedade Civil Mamirauá, 1995. 124 p.
- BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Decreto n.º 86.061, de 2 de junho de 1981*. 1981.
- BRITSKI, H. A.; SILIMON, K. Z.; LOPES, B. S. *Peixes do Pantanal, Manual de identificação*. Brasília: Embrapa-SPI, 2007. 184 p.
- CATELLA, A. C.; ALBUQUERQUE, F. de F.; CAMPOS, F. L. de R. Sistema de controle de pesca do Mato Grosso do Sul SCPECA/MS-5. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Corumbá, 2013.
- CARVALHO, N. O. Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1986, Corumbá. *Anais...* Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986.
- DAMASCENO, G. A. J.; SÓRIO, V. F.; PAROLIN, P. Dispersal of palm seeds (*Bactris glaucescens*) by the fish *Piaractus mesopotamicus* in the Brazilian Pantanal. *Ecotrópica*, v. 20, p. 15-22, 2015.
- FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A.; PENHA, J. *Biodiversidade no Pantanal de Poconé*. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal, 2010. 196 p.
- FREITAS, T. M. da S.; PRUDENTE, B. da S.; ALMEIDA, V.H. da C.; MONTAG, L. F. de A. *Os Peixes e as Florestas Alagadas de Caxiuanã*. Belém: Museu Paraense Emílio Goldi, 2010. 28 p.

- GALETTI, M.; DONATTI, C. I.; PIZO, M. A.; GIACOMINI, H. C. Big Fish are the Best: Seed Dispersal of *Bactris glaucescens* by the Pacu Fish (*Piaractus mesopotamicus*) in the Pantanal, Brazil. *Biotropica*, v. 40, n. 3, p. 386-389, 2008.
- HERRERA, C. M. Seed dispersal by vertebrates. In: HERRERA, C. M.; PELLMYR, O. (Eds.). *Plant-animal interactions: an evolutionary approach*. Malden: Blackwell Publishing, 2002. p. 185-208.
- JANZEN, D. H. The deflowering of Central America. *Natural History*, v. 83, p. 49-53, 1974.
- JORDANO, P.; GALETTI, M.; PIZO, M. A.; SILVA, W. R. Ligando frugivoria e dispersão de sementes à biologia da conservação. In: DUARTE, C. F.; BERGALLO, H. G.; DOS SANTOS, M. A.; SLUYS, M. V. (Eds.). *Biologia da conservação: essências*. São Paulo: Rima. 2006. p. 411-436.
- JUNK, W. J. Áreas inundáveis: um desafio para limnologia. *Acta Amazonica*, v. 10, n. 4, p. 775-795, 1980.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic*, p. 110-127, 1989.
- JUNK, W. J.; SILVA, C. J. da. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIOECONÔMICOS DO PANTANAL: MANEJO E CONSERVAÇÃO. *Anais...* Corumbá: Embrapa, 1999. p. 17-28.
- KAWAKAMI, E.; VAZZOLER, G. Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. *Boletim Instituto Oceanográfico*, v. 29, n. 2, p. 250-207, 1980.
- KUBITZKI, K.; ZIBURSKI, A. Seed dispersal in flood plain forest of Amazonia. *Biotropica*, v. 26, n. 1, p. 30-43, 1994.
- LOWE-McCONNEL, R. H. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 382 p.
- MAIA, L. A.; CHALCO, F. P. Produção de frutos de espécies da floresta de Várzea da Amazônia Central importantes na alimentação de Peixes. *Acta Amazonica*, v. 32, n. 1, p. 45-53, 2002.
- MAIA, L. M. A. *Frutos da Amazônia: fonte de alimento para peixes*. Sebrae-AM: Sebrae, 2001. 187 p
- MAIA, L. M. A. *Influência do Pulso de Inundação na Fisiologia, Fenologia e Produção de Frutos de Hevea spruceana (Euphorbiaceae) e Eschweilera tenuifolia (Lecythidaceae), em Área Inundável de Igapó da Amazônia Central*. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, 1997.
- MAIA, L. M. A.; SANTOS, L. M. D.; PAROLIN, P. Seed germination of *Bothriospora corymbosa* (Rubiaceae) recouped of digestive tract of *Triportheus angulatus* (sardinha) in Camaleão Lake, Central Amazonian. *Acta Amazonica*, v. 37, p. 321-326, 2007.
- MOTTA, R. L.; UIEDA, V. S. Dieta de duas espécies de peixes do Ribeirão do Atalho, Itatinga, SP. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Juiz de Fora, v. 6, n. 2, p. 191-205, 2004.
- MUNIZ, C. C.; ALENCAR, S. S.; ANDRADE, M. L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. S.; FURLAN, A. O.; CARNIELLO, M. A. Dispersão de sementes por *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) na Estação Ecológica de Taiamã, Pantanal Norte, MT. *Ambiência*, v. 10, n. 3, p. 663-676, 2014.
- NEVES, S. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídios às atividades agropecuárias e turísticas municipais. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 55-68, 2011.
- NUNES DA CUNHA, C.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. G. J. *Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats*. Cuiabá: EdUFMT, 2015.

PETRY, P.; RODRIGUES, S. T.; RAMOS NETO, M. B.; MATSUMOTO, M. H.; KIMURA, G.; BECKER, M.; REBOLLEDO, P.; ARAÚJO, A.; OLIVEIRA, B. C.; SOARES, M. S.; OLIVEIRA, M. G.; GUIMARÃES, J. *Análise de Risco Ecológico da Bacia do Rio Paraguai: Argentina, Bolívia, Brasil e Paraguai*. Brasília: The Nature Conservancy, 2012.

PILATI, R.; ADRIAN, I. D.; CARNEIRO, J. W. P. Performance of seed germination of *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae) from the digestive tract of *Ptedoras granulatus* (Valenciennes, 1833) of the floodplain of the Upper Paraná River. *Interciência*, v. 24, n. 6, p. 381-388, 1999.

PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI (PCBAP). Morfoestrutura da bacia do Pantanal. In: _____. *Diagnóstico dos Meios Físico e Biótico: Meio Físico*. 1997. v. 2, tomo 1.

POLLUX, B. J. A. The experimental study of seed dispersal by fish (ichthyochory). *Freshwater Biology*, v. 56, n. 2, p. 197-212, 2011.

POTT, A.; POTT, V. J. *Plantas do Pantanal*. Brasília: EMBRAPA – SPI/CPAP, 1994. 320 p.

RESENDE, E. K. de. Pulso de inundação – processo ecológico essencial à vida no Pantanal (Orgs.). V Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. *Documentos*, p. 1-16, 2008.

RESENDE, E. K. de; PEREIRA, R. A. C. Peixes onívoros da planície inundável do rio Miranda, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Corumbá, v. 16, 2000. 44 p.

REYS, P.; SABINO, J.; GALETTI, M. Frugivory by the fish *Brycon hilarii* (Characidae) in western Brazil. *Acta Oecolo*, 2008.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; POTT, V. J.; POTT, A.; SILVA, M. P. Utilização de dados analógicos do Landsat-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33 (número especial), p. 1799-1813, 1998.

SILVA, S. A. A. da. *Dieta natural de Brycon sp. n. "Cristalino" – matrinxã no Parque Estadual Cristalino, região norte de Mato Grosso*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

SOUZA, L. L. Frugivoria e dispersão de sementes por peixes na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amaná. *Uakari*, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2005.

POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL ITUPARARANGA: PERCEPÇÕES DE EDUCADORES E EDUCANDOS

PEDAGOGICAL POTENTIALITIES OF ITUPARARANGA PROTECTION AREA:
PERCEPTIONS OF EDUCATORS AND STUDENTS

Gabriela Godinho de Almeida

Bióloga e Mestre em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Rogério Hartung Toppa

Biólogo e Doutor em Ecologia e Recursos Naturais pela UFSCar. Professor adjunto do Departamento de Ciências Ambientais e do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da UFSCar.

Andréia De Fiori

Bióloga e Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela UFSCar.

Endereço para correspondência:

Gabriela Godinho de Almeida –
Rua Zico Sorares, 497 – Centro –
18150-000 – Ibiúna (SP), Brasil –
E-mail: gabriela.galmeida91@gmail.com

Recebido: 28/04/2016

Aceito: 02/07/2017

RESUMO

A criação de áreas legalmente protegidas visa conservar ambientes naturais e garantir que atividades humanas ocorram de maneira sustentável. Entretanto, sua efetividade depende da contextualização e participação das comunidades locais durante o processo de criação e gestão. Isso se dá por meio de ações de Educação Ambiental que promovam a sensibilização e a conscientização, estimulando o envolvimento da população na redução dos impactos ambientais gerados. Nas escolas estaduais de Ibiúna (SP), município que compõe 62% da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga, os resultados deste estudo, obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas com educadores e enquetes com educandos, demonstraram que, embora grande parte dos educadores tenha conhecimento sobre a APA e sua importância, essas informações atingem uma pequena parcela dos educandos. Concluímos que a introdução da APA no cotidiano escolar pode trazer contribuições pedagógicas significativas, fundamentadas nos objetivos dessa categoria de Unidade de Conservação.

Palavras-chave: educação ambiental; unidades de conservação; participação popular.

ABSTRACT

The creation of legally protected areas aims to conserve natural environments and ensure that human activities occur in a sustainable way. However, its effectiveness depends on the contextualization and participation of local communities during the creation and management process. This is done through Environmental Education actions that promote sensitization and awareness, stimulating the population involvement in reducing the environmental impacts generated. At state schools in Ibiúna (SP), a municipality that composes 62% of Itupararanga Environmental Protection Area (APA), the results of this study, obtained through semi-structured interviews with educators and surveys with students, demonstrated that, although most educators have knowledge about the APA and its importance, this information reaches a small portion of the students. We concluded that the introduction of APA in school life can bring significant pedagogical contributions, grounded on the objectives of this protected area category.

Keywords: environmental education; protected areas; popular participation.

INTRODUÇÃO

A criação de áreas legalmente protegidas configura uma estratégia global, adotada como forma de conservar ecossistemas naturais e/ou atributos culturais, e consiste na demarcação de um território para o qual são estabelecidos limites e dinâmicas de uso e ocupação específicos (MEDEIROS, 2006). Originalmente focadas na preservação de belezas naturais e da vida silvestre, as áreas protegidas apresentam atualmente um conjunto diversificado de objetivos, que incluem, além da conservação, aspectos sociais e econômicos (WATSON *et al.*, 2014), caminhando para o estabelecimento de uma perspectiva que considera a integração entre os atributos ecológicos e sociais que compõem a paisagem (PALOMO *et al.*, 2014).

No cenário brasileiro, sobretudo até a década de 1960, muitas Unidades de Conservação (UC) foram estabelecidas por lei com base em razões estéticas e políticas (SCHENINI *et al.*, 2004; MACIEL, 2011). Entretanto, a população das comunidades locais não foi considerada durante o processo de criação dessas UC, o que as tornou ineficientes na resolução de problemas relacionados aos impactos ambientais gerados por atividades antrópicas (FIORI, 2002).

O estabelecimento do Novo Código Florestal Brasileiro, em 1965, marca o início de um período de novas discussões sobre as questões ambientais, sendo gradualmente estabelecidas diversas categorias de UC. Em 1989, surge a proposta para a implementação de um sistema único, definindo critérios objetivos para a criação e gestão das áreas protegidas. Essa proposta se concretiza em 2000, sendo então instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (RYLANDS & BRANDON, 2005; MEDEIROS, 2006).

O SNUC estabelece as Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e as Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCUS). As UCPI devem ser mantidas livres de alterações antrópicas, sendo permitidas apenas atividades que não envolvam consumo ou coleta de recursos. As UCUS devem conciliar a conservação e o uso dos recursos naturais pela população, garantindo que as atividades humanas ocorram de maneira sustentável. Segundo as diretrizes do SNUC, a criação, implantação e gestão de uma UC devem contar com a participação efetiva da comunidade local. Além disso, deve ser assegurada a integração da UC com suas ati-

vidades econômicas e sociais, sendo promovidas condições para a educação, a interpretação ambiental, o turismo ecológico e a valorização econômica na região (BRASIL, 2000).

As Áreas de Proteção Ambiental (APA) foram instituídas em 1981, estabelecendo um modelo de proteção que se adequasse às áreas com ocupação humana, incluindo as urbanas (MEDEIROS, 2006). São classificadas pelo SNUC como UCUS, e correspondem à categoria “V – Paisagem Terrestre e/ou Marinha Protegida (*Protected Landscape / Seascape*)” na classificação da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) (BRASIL, 2000; RYLANDS & BRANDON, 2005).

A percepção da população local influencia diretamente em seu comportamento, favorecendo ou dificultando a ocorrência de ações que contribuam para o cumprimento dos objetivos das áreas protegidas (BENNETT, 2016). Considerando-se que tanto as premissas da sustentabilidade quanto a participação popular em UC, amplamente citadas pelo SNUC, dependem do estabelecimento de relações com a comunidade local, se faz necessária a ocorrência efetiva de ações que visem conscientizar e promover a contextualização das populações residentes com a área, de modo que sejam capazes de compreender sua importância ambiental e social (BENNETT & DEARDEN, 2014; CARREGOSA *et al.*, 2015). Como um processo contínuo de formação da sociedade, por meio da reflexão crítica, essas ações despertam a necessidade de intervir na realidade para transformá-la, estimulando o envolvimento das comunidades em ações participativas em prol da conservação ambiental e da justiça social (OAIKEN *et al.*, 2001; LOUREIRO & SAISSE, 2014). Nesse contexto, a Educação Ambiental constitui uma ferramenta essencial para a gestão de áreas protegidas, subsidiando tomadas de decisão por meio da integração dos objetivos da conservação biológica com as necessidades da população (BENNETT & DEARDEN, 2014; ZORRILLA-PUJANA & ROSSI, 2016).

No caso da APA Itupararanga, admite-se que a maior parte da população desconhece sua existência ou não compreende sua importância socioambiental, sendo reconhecida a necessidade de incentivos à Educação Ambiental. O programa de Educação Ambiental previsto pelo plano de manejo está integrado ao de tu-

rismo sustentável e comunicação. Os objetivos são orientados para a sensibilização da população e divulgação da APA em espaços formais e não formais de educação, sendo apontadas como potenciais parceiras as escolas de Ensino Fundamental e Médio da região (SÃO PAULO, 2009b).

Tendo em vista o papel fundamental dos educadores na formação de estudantes de todas as idades, por meio do contato constante, as escolas podem ser consideradas locais propícios para a realização de ações de Educação Ambiental (REIGOTA, 2009; VALDERRAMA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017). Em uma UC, diversos elementos podem apresentar contribuições pedagógicas para o processo de ensino-aprendizagem, como os motivos pelos quais a área está protegida, sua importância estética, histórica, ecológica, social e cultural, possibilitando uma abordagem que transcende os limites disciplinares (REIGOTA, 2009; SMIT *et al.*, 2017). Além disso, a aproximação da população com a APA pode proporcionar o redescobrimto do local onde vive por meio de um novo olhar, despertando o sentimento de pertencer a esse am-

biente. O estabelecimento dos vínculos entre o ser humano e o mundo em que se encontra, a partir de uma visão desfragmentada, é essencial para a concretização dos propósitos da Educação Ambiental, e contribui diretamente para a ocorrência de ações participativas (SAUVÉ, 2016; VALDERRAMA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017).

Considerando a importância da APA Itupararanga para a Educação Ambiental em contexto regional, este trabalho teve como objetivos:

- analisar o conhecimento e a percepção dos diretores, coordenadores pedagógicos, docentes e discentes de escolas públicas estaduais de Ibiúna (SP) sobre essa UC e suas potencialidades pedagógicas;
- verificar a existência e/ou previsão de atividades pedagógicas envolvendo a APA Itupararanga no cotidiano escolar; e
- apontar potenciais usos pedagógicos da APA Itupararanga e a melhor maneira de viabilizá-los no âmbito das escolas públicas de Ibiúna.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e contexto regional

A APA Itupararanga (Figura 1) foi criada pela Lei Estadual nº 10.100, de 1º de dezembro de 1998, e alterada pela Lei Estadual nº 11.579, de 2 de dezembro de 2003. Com 93.651 hectares de área, é composta pelos municípios de Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim. Seu território corresponde à área da bacia hidrográfica da represa Itupararanga, denominada Alto Sorocaba, situando-se a cerca de 40 quilômetros da capital, São Paulo. A área possui importância ambiental, apresentando diversas nascentes e corpos hídricos e tendo 38% de seu território ocupado por vegetação nativa. Essa UC situa-se a cerca de 1.300 metros da porção norte do Parque Estadual do Jurupará, constituindo uma faixa de contínuos de vegetação em bom estado de conservação, bem como remanescentes florestais de Mata Atlântica que são importantes refúgios da fauna (SÃO PAULO, 2009b).

A represa Itupararanga foi construída pela empresa Light, tendo como objetivo inicial a geração de ener-

gia elétrica. Operando a partir de 1912, passou a ser administrada em 1974 pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), do Grupo Votorantim, empresa à qual se destina toda a produção de energia atual. A represa também provê o abastecimento público dos municípios de Sorocaba e Votorantim, e é intensivamente utilizada para irrigação agrícola, além de atividades de lazer, possuindo grande importância econômica e social (SÃO PAULO, 2009b).

A APA Itupararanga apresenta uma série de conflitos socioambientais e pressões para a exploração de seus recursos. Os principais problemas registrados se correlacionam ao desmatamento das matas ciliares e ao lançamento de efluentes sem tratamento, bem como ao uso intensivo de irrigação, fertilizantes e defensivos nas atividades agrícolas e à pesca predatória para fins comerciais. Paralelamente, admite-se que a maior parte da população desconhece a existência da APA ou não compreende sua importância socioambiental (SÃO PAULO, 2009b; BEU *et al.*, 2011).

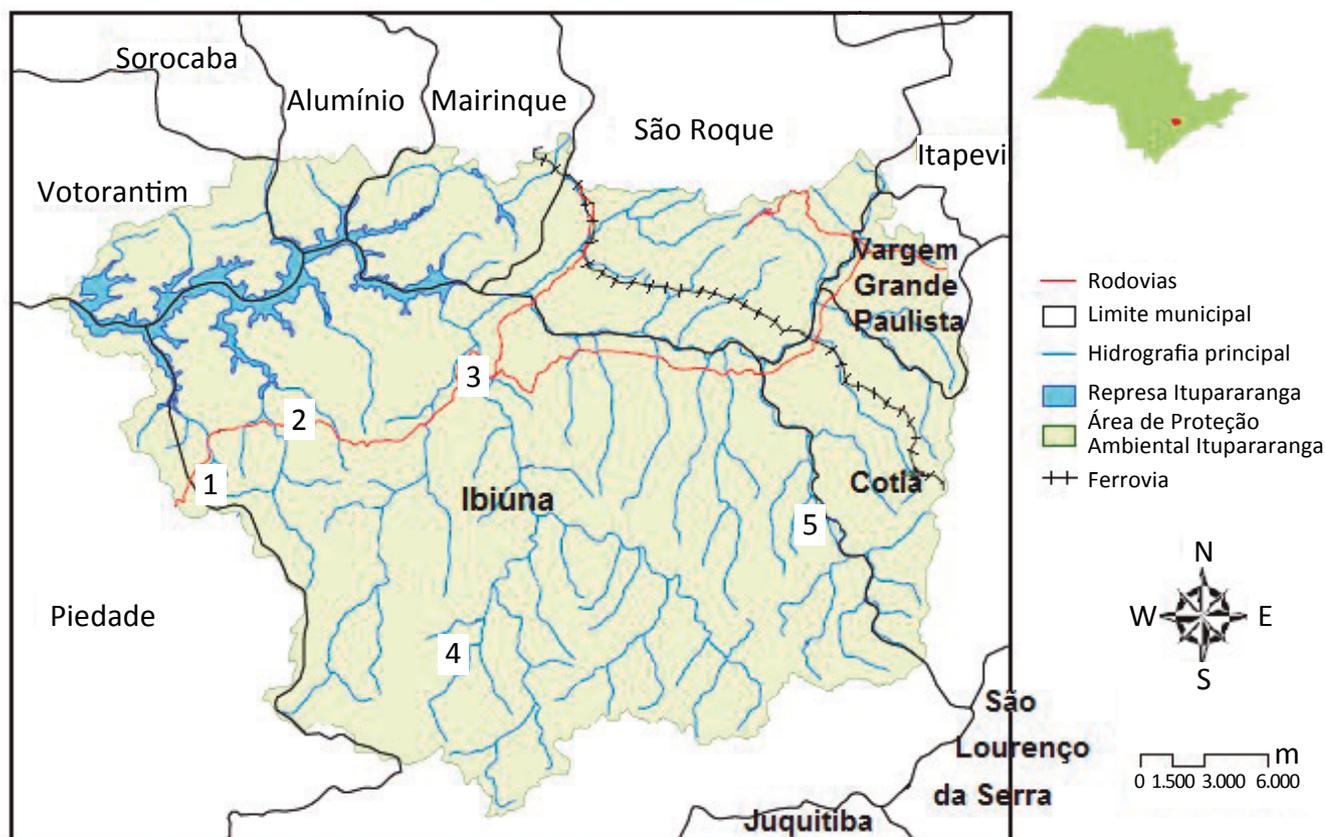
O município de Ibiúna compõe 58.206,76 hectares (62%) do território da APA Itupararanga e, juntamente com São Roque, abriga as áreas com maior presença de fragmentos e remanescentes florestais (BEU *et al.*, 2011). A coleta de dados foi realizada em cinco escolas estaduais de Ibiúna, localizadas em diferentes regiões do município, selecionadas de acordo com a oferta de

Atores da pesquisa e instrumentos de investigação

Para a coleta de dados, a entrevista semiestruturada apresentou-se como um procedimento adequado, sendo guiada por um roteiro de questões abertas, o que possibilitou certa delimitação do tema, porém permitindo adaptações quando necessário (DOODY & NOONAN, 2013). Mantida sob a forma de um diálogo contínuo, a entrevista semiestruturada assemelha-se a uma

conversa informal, o que minimiza o constrangimento do informante, sem desviar o foco da pesquisa (ANDRÉ & LÜDKE, 1986; DUARTE, 2002).

Segundo Duarte (2002), como os métodos investigativos envolvendo entrevistas podem ser mais demorados, cabe estabelecer critérios para a seleção dos sujeitos a



Fonte: adaptado de São Paulo (2009b).

Figura 1 – Localização da Área de Proteção Ambiental Itupararanga e das escolas pesquisadas. (1) E. E. Lurdes Penna Carmelo (Distrito do Paruru), (2) E. E. Frederico Marcicano (Bairro Ressaca), (3) E. E. Prof. Roque Bastos (Centro), (4) E. E. Lino Vieira Ruivo (Bairro Piaí) e (5) E. E. Carmo Messias (Distrito Carmo Messias).

serem entrevistados. Para a presente pesquisa, foram selecionados dois grupos de atores interaguintes:

1. educadores
2. educandos

Em relação aos educadores, foram entrevistados diretores e coordenadores pedagógicos — por estarem diretamente envolvidos com as propostas pedagógicas da escola — e professores das áreas de Ciências Biológicas e Geografia. Atualmente, a Educação Ambiental nas escolas ainda está atrelada às disciplinas relacionadas à Ecologia, pois o currículo pré-estabelecido dificulta sua abordagem por docentes de outras áreas (SATO, 2002). Assim, a escolha dos professores levou em consideração o fato de lecionarem disciplinas diretamente relacionadas à temática ambiental.

Foram entrevistados 20 educadores, sendo 15 mulheres e 5 homens, com idade entre 30 e 47 anos, dos quais 12 trabalham na mesma escola há 5 anos ou mais. Quatro são diretores de escola, 5 são coordenadores pedagógicos e 11 são professores que lecionam para séries do Ensino Fundamental II (6º ao 9º ano) e Ensino Médio (1º ao 3º ano), sendo 7 professores de Ciências e Biologia e 4 de Geografia.

Durante a entrevista, foram abordados os seguintes tópicos relacionados à APA Itupararanga:

- conhecimento dos educadores sobre a APA;
- como obtiveram essas informações;
- quais as propostas e atividades de Educação Ambiental na escola, e se envolvem a APA;

- como a inserção da APA no cotidiano escolar pode contribuir para o processo de ensino-aprendizagem, bem como as limitações encontradas.

De forma a minimizar a interferência na rotina escolar, conforme sugestão dos gestores, o levantamento de dados junto aos educandos foi realizado durante o período de aula com todos os estudantes de determinada classe. Assim, diante do grande número de participantes, foi realizada uma enquete.

Participaram 180 estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, com idade entre 16 e 18 anos, sendo 93 do gênero feminino e 87 do gênero masculino. A escolha por educandos do último ano do Ensino Médio levou em consideração a experiência escolar dos participantes, de modo que as respostas pudessem contemplar toda a trajetória escolar vivenciada.

A enquete com os educandos iniciou-se com a apresentação de imagens associadas à represa Itupararanga, que representa um *landmark*, ou seja, um marco estrutural da paisagem (MAROTI *et al.*, 2000), considerado um ponto de referência associado a essa UC. As imagens (Figura 2) representam áreas utilizadas para lazer (pesca recreativa, banho e prática de esportes aquáticos), bem como características marcantes da paisagem, como vegetação, áreas de cultivo e construções residenciais. O uso de imagens favorece a evocação de percepções ambientais, uma vez que o estímulo visual permite o resgate de conexões construídas com a paisagem a partir de experiências vivenciadas (LÓPEZ-SANTIAGO *et al.*, 2014). Assim, buscou-se veri-



Fonte: A - Ibiúna (2009); B - São Paulo (2009a); C - Marcicano (2008).

Figura 2 – Imagens da represa Itupararanga e ambientes associados, apresentadas aos educandos das escolas pesquisadas durante a enquete.

ficar se haveria reconhecimento e relação de familiaridade com o local por parte dos educandos.

Em seguida, a enquete foi realizada oralmente a toda a classe, sendo guiada, da mesma forma que para os educadores, por questões abertas referentes aos seguintes tópicos:

Análise dos dados

Para a análise do conhecimento e da percepção do público escolar sobre a APA Itupararanga, foram consideradas as respostas dos educadores e educandos em relação à existência da APA, sua importância, os motivos de sua criação, a área de abrangência e o modo como essas informações foram obtidas, sendo que, no caso dos educandos, incluiu-se também o reconhecimento das imagens da represa Itupararanga e dos ambientes associados pelos participantes.

Para verificar se a APA Itupararanga está inserida no cotidiano escolar e como é abordada nos casos positivos, foram analisadas as narrativas dos educadores em relação às propostas e projetos de Educação Ambiental realizados nas escolas, destacando-se os principais temas e conceitos citados e as dificuldades encontradas para a inserção da APA. Além disso, foi registrado o número de educadores que afirmou que a APA já foi abordada em aulas ou projetos, bem como os que citaram intervenções do Conselho Gestor, verificando-se quais os tipos de atividades realizadas, os temas e os conceitos correlacionados nessas intervenções. Foram consideradas também as narrativas de educandos que afirmaram ter obtido informações sobre a APA por meio de projetos, aulas e intervenções do Conselho Gestor que ocorreram no ambiente escolar.

Com base nas entrevistas e enquetes, buscou-se verificar se a inserção da APA no cotidiano escolar traria contribuições pedagógicas, tanto em relação à abordagem de conceitos específicos das disciplinas como em relação à sensibilização, conscientização ambiental e contextualização com a APA. Desse modo, as respostas foram analisadas, e os temas e conceitos citados foram classificados conforme as representações ambientais apresentadas por Sauv e *et al.* (2000 *apud* SATO, 2002), adaptadas por Sato (2002), que envolvem modos diversos e complementares de perceber o meio ambiente:

1. como natureza, que deve ser apreciada, respeitada e preservada;

- conhecimento dos educandos sobre a APA Itupararanga;
 - como obtiveram essas informações;
 - como a APA pode contribuir para o seu aprendizado.
2. como recurso, que deve ser gerido;
 3. como problema, que deve ser resolvido;
 4. como sistema, a ser compreendido;
 5. como o lugar em que se vive, que deve ser conhecido e aprimorado;
 6. como biosfera, na qual se vive junto e em longo prazo; e
 7. como projeto comunit rio, no qual todos devem se empenhar.

Buscou-se, ainda, identificar que tipo de atividade poderia ser realizada para contemplar os temas e conceitos citados de acordo com as sugestões de educadores e educandos. As atividades foram classificadas com base na modalidade did tica envolvida e suas poss veis contribui es para o processo de ensino-aprendizagem, conforme Krasilchik (2008), que aponta oito principais categorias de modalidades did ticas utilizadas para o ensino formal:

1. aulas expositivas;
2. discuss es;
3. demonstra es;
4. aulas pr ticas;
5. excurs es;
6. simula es;
7. instru o individualizada; e
8. projetos.

Por fim, foram pontuadas as dificuldades citadas pelos educadores para a realiza o das possibilidades sugeridas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conhecimento e percepção ambiental de educadores e educandos sobre a Área de Proteção Ambiental Itupararanga

Com base nas respostas dos educadores, foi possível identificar que 70% (14 educadores) sabiam da existência da APA e que os motivos de sua criação incluem o fato de abrigar importantes mananciais e a existência de fragmentos de mata nativa, sendo enfatizada a proteção de atributos naturais como função da UC. Porém, não foi citada a importância social da APA, não sendo mencionado o uso sustentável desses recursos. Além disso, 6 dos 14 educadores não sabiam que a APA contempla a escola onde trabalham, enxergando-a como uma realidade distante, restrita à área da represa Itupararanga. Tais resultados indicam que não há contextualização efetiva entre a APA e os educadores, que têm dela uma visão fragmentada, segundo a qual o ser humano e a natureza estão dissociados, e os vínculos entre a diversidade biológica e cultural não são estabelecidos (SAUVÉ, 2005; VALDERRAMA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017).

Sete dos 14 educadores obtiveram informações sobre a APA no ambiente escolar, com base em projetos realizados pelo Conselho Gestor da APA. Os demais receberam informações fora do ambiente escolar, por meio de materiais informativos em geral, tanto impressos como digitais, e ações externas promovidas pelo Conselho Gestor. Apenas os educadores das escolas Lurdes Penna Carmelo (Distrito do Paruru), Frederico Marcicano (Bairro Ressaca) e Lino Vieira Ruivo (Bairro Piaí) afirmaram ter obtido informações no ambiente escolar, sendo que, no caso das duas primeiras, isso ocorreu há mais de cinco anos. Assim, foi possível constatar que, embora as escolas tenham sido utilizadas para a divulgação de informações sobre a APA ao público escolar, essas intervenções se concentraram em alguns bairros, enquanto outros locais, como o centro do município e o Distrito Carmo Messias, não foram contemplados. Além disso, em certos casos, as ações foram pontuais, não sendo retomadas.

No caso dos educandos, analisando-se separadamente cada escola, diferentes percepções foram registradas quanto ao reconhecimento das imagens da represa Itupararanga e dos ambientes associados. No distrito do Paruru e no bairro Ressaca, localizados nas proximidades da represa, todos os participantes da E.E. Lurdes Penna Carmelo e 30 de 35 da E. E. Frederico Marcicano

reconheceram as imagens, que representam o local onde vivem, sendo comuns frases como: “É perto da minha casa” ou “Passo por aí todos os dias”. Para os educandos do bairro Piaí, 25 de 30 participantes reconheceram as imagens, que representam, porém, um local cuja aproximação se deu por meio de palestra ou aula, com pouco ou nenhum contato direto. As escolas em que a maioria dos participantes não reconheceu as imagens e não tinha qualquer informação sobre a existência da represa Itupararanga se localizam no distrito Carmo Messias — em que nenhum dos educandos reconheceu as imagens — e no centro do município, onde apenas 5 de 45 participantes reconheceram as imagens, com a percepção de que se trata de um espaço de lazer para visitas ocasionais.

A percepção dos educandos que conheceram a represa Itupararanga apenas por fotos, a dos que já visitaram o local e a dos que residem em suas proximidades difere. Considerando-se que a percepção ambiental se dá por meio dos diferentes sentidos humanos, educandos que conhecem o local apenas por fotos apresentadas em palestra — ou que viram o ambiente pela primeira vez durante a enquete — têm percepção relacionada apenas à visão, com avaliação essencialmente estética. No caso dos visitantes, embora a visão seja o sentido predominante, o contato físico com o ambiente e as experiências vivenciadas — neste caso, momentos de lazer — possibilitam o desenvolvimento de sensações e lembranças associadas. Já o indivíduo que mora no local está envolvido em uma complexa relação com o ambiente, desenvolvendo sentimento de familiaridade e afeição (TUAN, 1980).

No total, 105 educandos reconheceram as imagens da represa Itupararanga, porém apenas 51 sabiam da existência da APA, o equivalente a 28% do total dos 180 educandos que participaram da enquete. Dentre esses, apenas um obteve informações fora do ambiente escolar. Os demais receberam informações em palestras realizadas na escola por iniciativa do Conselho Gestor da APA, sendo que cinco afirmaram ter obtido também informações durante as aulas. Os outros 54 educandos que reconheceram o local sabiam da existência da represa Itupararanga, mas não do fato de estar inserida em uma APA, assim como um participante que não re-

conheceu o local, mas já tinha ouvido falar da represa, totalizando 31% do total. Os 41% restantes (73 educandos) não tinham qualquer informação sobre a APA ou a represa Itupararanga.

Dos 51 educandos que possuíam algum conhecimento sobre a existência da APA Itupararanga, todos compreendiam que apenas a represa era contemplada pela UC, desconhecendo o fato de ela abrigar também fragmentos de mata nativa. Nenhum deles tinha conhecimento de que a escola onde estudam ou o bairro onde moram

se encontram no território de abrangência da APA, e a importância social da APA não foi citada. Desse modo, não há contextualização efetiva entre os educandos e a UC em que se encontram, predominando o entendimento de que a APA representa apenas um ambiente natural a ser preservado, sem que sejam feitas relações entre os atributos naturais e sociais que a compõem enquanto paisagem (PALOMO *et al.*, 2014). Segundo essa visão, o ser humano está dissociado do ambiente, sem o estabelecimento de vínculos que permitam aos educandos se sentirem parte desse meio (SAUVÉ, 2016).

A Área de Proteção Ambiental Itupararanga no cotidiano escolar

De acordo com as narrativas dos educadores, verificou-se que, tanto para a elaboração das aulas como para os projetos desenvolvidos nas escolas, segue-se o currículo determinado pelo governo estadual, baseando-se em temas e conceitos a serem abordados ao longo do período letivo, de acordo com as diferentes séries do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Os projetos definidos pelos educadores consistem em atividades que utilizam estratégias didáticas diferentes das aulas expositivas, e que geralmente ocorrem fora do horário das aulas de Ciências, Biologia e Geografia. Essas atividades envolvem saídas de campo e confecção de materiais, por vezes com a participação de educadores de diversas áreas e, em alguns casos, atingindo a comunidade do entorno. Os projetos são desenvolvidos ao longo do período letivo, mas não necessariamente estimulam a resolução de problemas, como definido por Krasilchik (2008). Constatou-se que predominam os temas relacionados à gestão de recursos (tais como lixo e reciclagem e consumo de energia) e à resolução de problemas ambientais (tais como queimadas e poluição). Ambos representam o ser humano como causador de impactos negativos ao ambiente natural, mas podem ser desenvolvidos como forma de promover atitudes que contribuam para a conservação (SATO, 2002; SAUVÉ, 2005).

As narrativas dos educadores, assim como relatado por Sato (2002), indicam que o atual modelo de currículo no ensino formal não permite aos professores um arranjo flexível para a abordagem das questões ambientais, sobretudo aquelas referentes ao contexto local, dificultando a inserção da APA entre os temas trabalhados:

“Fica difícil por causa do tempo, pois a APA não está no currículo.”

“Existe um currículo pré-determinado que deve ser seguido e não prevê este tema. O máximo que consigo é relacionar os temas previstos com o cotidiano local, mas não dá pra aprofundar conceitos relacionados especificamente à APA.”

Além disso, os próprios educadores são influenciados pelos paradigmas vigentes, o que dificulta o desenvolvimento de práticas que diferem da abordagem tradicional (GUIMARÃES, 2007; MEIJERS *et al.*, 2016; ALENCAR *et al.*, 2016). Consequentemente, prejudica-se o tratamento de questões cotidianas que vão além da transmissão de conteúdos sobre temas específicos, os quais pouco contribuem para o desenvolvimento de ações participativas (JACOBI, 2005; REIGOTA, 2009).

Dentre os 20 educadores, 15 (75%) afirmaram que a APA nunca foi abordada durante suas aulas ou em projetos de Educação Ambiental desenvolvidos na escola. Onze educadores citaram alguma intervenção do Conselho Gestor da APA, correspondendo a 55% dos entrevistados. Entre os 180 educandos, 28% (50 participantes) afirmaram que a APA já foi abordada no ambiente escolar por meio de palestra promovida pelo Conselho Gestor da APA, porém apenas 5 citaram a abordagem durante as aulas, o que corresponde a 3% do total.

Em relação às intervenções realizadas pelo Conselho Gestor da APA, de acordo com as narrativas de educadores e educandos, constatou-se que 89% das atividades citadas não abordam diretamente a APA, sua existência e importância, mas sim conceitos relacionados ao meio ambiente de forma geral, principalmente temas referentes aos principais impactos observados na APA, tais como reflorestamento e mata ciliar, saneamento básico e descarte de resíduos. É importan-

te que esses temas sejam discutidos com a população local, visando mudanças de atitude. Porém, sua eficácia depende diretamente da sensibilização e do estabelecimento de conexões entre as pessoas e o ambiente em que se encontram (FRANTZ & MAYER, 2014; CARREGOSA *et al.*, 2015).

De acordo com Oaigen *et al.* (2001), a Educação Ambiental deve constituir um processo contínuo de formação da sociedade, despertando a necessidade do envolvimento ativo de cada indivíduo. Desse modo, ações pontuais envolvendo somente educandos ou educadores dificilmente serão eficazes. O cumprimento dos objetivos da Educação Ambiental requer uma abordagem holística que vá além da transmissão de conhecimentos, envolvendo o contexto social e cultural do educando e estimulando a ação individual e coletiva relacionada aos problemas socioambientais (GRANIT-DGANI *et al.*, 2016). Diante da necessidade de uma visão integrada entre as múltiplas áreas e o todo, principalmente

partindo do contexto local para o global, os educadores devem estar cada vez mais preparados para possibilitar aos educandos a construção de uma visão crítica durante o processo de ensino-aprendizagem (JACOBI, 2005). Desse modo, o sucesso de ações de Educação Ambiental está diretamente associado à preparação e ao treinamento dos educadores (TAVARES *et al.*, 2016; ZORRILLA-PUJANA & ROSSI, 2016).

Assim, ações de Educação Ambiental que abordem a APA com a comunidade escolar devem ser realizadas continuamente, e podem ser mais efetivas iniciando-se com um trabalho que contribua para ampliar o conhecimento e promover a familiarização dos educadores com a UC em que estão inseridos. Desse modo, seriam estabelecidos vínculos entre o contexto local e a APA, os quais se estenderiam aos educandos por meio de uma abordagem integrada ao cotidiano e à proposta pedagógica da escola.

Possibilidades pedagógicas da Área de Proteção Ambiental Itupararanga para as escolas públicas de Ibiúna: potencialidades e limitações

Todos os educadores entrevistados afirmaram que a APA pode apresentar contribuições pedagógicas para a educação formal no contexto local, e todos os educandos afirmaram que podem aprender com a APA. Os temas e conceitos citados foram classificados segundo as categorias de representações ambientais descritas por Sauv e *et al.* (2000 *apud* SATO, 2002), adaptadas por Sato (2002), conforme a Tabela 1.

Constatou-se que tanto nas respostas dos educadores como nas dos educandos predominaram as categorias “Recursos naturais que devemos gerenciar” e “Natureza que devemos apreciar e respeitar”, sendo que a primeira categoria corresponde a 41% das respostas dos educadores e 27% das respostas dos educandos, enquanto a segunda categoria equivale a 39 e 33% das respostas dos educadores e educandos, respectivamente.

Tais representações envolvem o desenvolvimento da sensibilidade em relação à natureza e o manejo de recursos para um futuro sustentável. As demais categorias, embora tenham sido pouco citadas ou não tenham aparecido nas respostas, relacionam-se diretamente aos objetivos da APA. Portanto, é de fundamental importância que sejam desenvolvidas no contexto em

que se inserem, estimulando a ação para a resolução de problemas, o desenvolvimento de uma visão global do ambiente partindo-se do local e, sobretudo, o enraizamento por meio do estudo do ambiente local em que se vive e a ação associada à reflexão crítica e executada na forma de projetos comunitários (SAUV E, 2005; GUIMAR ES, 2007; REIGOTA, 2009).

Três possíveis modalidades didáticas foram citadas por educadores e educandos como forma de desenvolver atividades para a introdução da APA no cotidiano escolar, sendo classificadas de acordo com Krasilchik (2008): aulas expositivas (aulas teóricas e palestras), excursões (saídas de campo e estudos do meio) e projetos (pesquisas de coleta de dados, exposição de trabalhos realizados por alunos e confecção de mapas da bacia hidrográfica).

As aulas expositivas têm como função transmitir informações e introduzir um novo assunto (KRASILCHIK, 2008). Desse modo, permitem informar os estudantes a respeito da APA Itupararanga, sua importância estética, histórica e ecológica e os motivos de sua criação. Para enriquecer suas contribuições, deve-se abrir espaço para o debate com a participação de todos, considerando a identidade dos educandos e abordando to-

das as dimensões desse contexto — incluindo aspectos econômicos, sociais e culturais —, estimulando o diálogo entre educandos e entre educandos e educadores (REIGOTA, 2009; GRANIT-DGANI *et al.*, 2016).

Os projetos têm como objetivo desenvolver a iniciativa e a capacidade de decidir e agir na execução de uma ta-

refa. Em geral, partem de um problema a ser investigado e resultam em produtos finais (KRASILCHIK, 2008). No caso dos exemplos sugeridos pelos entrevistados, os projetos teriam como produtos trabalhos escritos, painéis para exposição e mapas confeccionados com base em pesquisas sobre a APA. A APA contempla diversas questões que podem ser abordadas por meio de

Tabela 1 – Classificação e frequências relativas dos temas e conceitos citados pelos educadores e educandos das escolas de Ibiúna – SP, conforme categorias de representações ambientais propostas por Sauv e et al. (2000 *apud* SATO, 2002), adaptadas por Sato (2002).

Representa�es ambientais	Educadores		Educandos	
	Exemplos sugeridos	Frequência relativa (%)	Exemplos sugeridos	Frequência relativa (%)
Natureza que devemos apreciar e respeitar	Preserva�o ambiental, do bioma, das árvores; vida aquática; rios e matas; mata ciliar; vegeta�o e fauna	39	Fauna e flora; preserva�o da �rea	33
Recursos naturais que devemos gerenciar	Lixo e reciclagem; Consumo de água; conflitos pelo uso da água; ciclo da água; água e solo	41	Lixo e reciclagem; água e solo	27
Problemas que devemos solucionar	Degrada�o; polui�o; queimadas; agrotóxicos	15	Polui�o; extin�o de espécies; urbaniza�o	20
Sistemas que devemos compreender para as tomadas de decisão	Ecologia	5	–	–
Meio de vida que devemos conhecer e organizar	–	–	Relevo do local; mapa dos municípios banhados pela represa Itupararanga	20
Biosfera em que vivemos juntos em longo prazo	–	–	–	–
Projeto comunitário com comprometimento	–	–	–	–

Fonte: Adaptada de Sato (2002).

projetos, incluindo aspectos ambientais e sociais, possibilitando o debate e a reflexão após o levantamento de dados pelos alunos (REIGOTA, 2009).

As excursões proporcionam o desenvolvimento de importantes dimensões cognitivas, incluindo experiências estéticas e de convivência que variam de indivíduo para indivíduo (KRASILCHIK, 2008). As aulas de campo tornam o processo de ensino-aprendizagem mais atraente e estimulante, permitindo maior participação dos educandos e instigando o redescobrimto do local onde vivem e o resgate do sentimento de pertencimento (SAUVÉ, 2005; FALCÃO & PEREIRA, 2009). O contato com ambientes naturais é capaz de despertar sensações e emoções que não ocorreriam em sala de aula, fortalecendo vínculos afetivos com o meio, o que contribui para a construção de valores, comportamentos e responsabilidades com o ambiente (SATO, 2002; COLLADO *et al.*, 2013; GRANIT-DGANI *et al.*, 2016). Além disso, possibilita a construção de novos conceitos com base na realidade e a compreensão de conceitos já estudados por meio de abordagem menos fragmentada, permitindo que o aprendizado ocorra de maneira natural e integralizada a partir do contato direto com o objeto de estudo (LIMA & BRAGA, 2014; BARROS & ARAÚJO, 2016).

No âmbito da educação formal, a implementação efetiva da Educação Ambiental encontra diversos obstáculos (SATO, 2002; STANIŠIĆ & MAKSIĆ, 2014; LÓPEZ-ALCARRIA *et al.*, 2016). A falta de materiais didáticos, sobretudo nas escolas públicas, é um tópico importante, pois os livros didáticos ainda constituem a principal ou única fonte de informação disponibilizada aos educadores e educandos (SATO, 2002). Isso dificulta a inclusão dos ambientes específicos de cada região e a inserção da dimensão ambiental no contexto local, limitando as práticas educativas a uma abordagem fragmentada (GUIMARÃES, 2007; REIGOTA, 2009; DUARTE *et al.*, 2013). Além disso, a defasagem na formação dos professores contribui para sua insegurança em tratar todos os aspectos inerentes à Educação Ambiental, os quais envolvem questões ecológicas, políticas e sociais, exigindo um trabalho interdisciplinar. A formação deficitária também inibe o desenvolvimento de atividades que diferem do modelo tradicional, baseado na transmissão de conhecimentos (STANIŠIĆ & MAKSIĆ, 2014; ALENCAR *et al.*, 2016; GRANIT-DGANI *et al.*, 2016). Deve-se considerar, ainda, a estrutura inflexível

do currículo, que prioriza o tratamento de questões ambientais em determinadas séries, faixas etárias ou disciplinas, dificultando ainda mais a concretização dos propósitos da Educação Ambiental enquanto processo contínuo e capaz de gerar conhecimentos integrados e aplicáveis à resolução de problemas reais (SATO, 2002; TREAGUST *et al.*, 2016).

Em relação às dificuldades e limitações enfrentadas para a realização das atividades sugeridas, 38% dos educadores entrevistados afirmam não haver empecilhos para a aplicação de aulas expositivas e projetos em sala de aula envolvendo a APA Itupararanga; seguidos por 25% que citam a falta de materiais didáticos contendo informações específicas sobre a APA ou a falta de ferramentas de pesquisa; 19% que sentem necessidade de orientação e trabalho em conjunto; 12% que mencionam o currículo inflexível e a falta de tempo; e 6% que sentem necessidade de planejamento prévio.

Embora a maioria dos educadores reconheça as valiosas contribuições das excursões, poucos as realizam, pois encontram diversos obstáculos, como complicações para obter autorização dos pais ou responsáveis, preocupação com a segurança dos alunos, receio de não saber responder aos questionamentos sobre as características locais e problemas com o transporte (KRASILCHIK, 2008). Apesar de 20% dos educadores terem apontado a inexistência de empecilhos para a realização das excursões, os dois grandes problemas mencionados, que contemplam 35% das respostas cada, foram a falta de transporte e a falta de infraestrutura para a recepção dos educandos nas áreas da represa Itupararanga, a qual não dispõe de um espaço seguro para o lazer e a Educação Ambiental, nem de monitores ou guias, o que reflete a preocupação dos educadores com a segurança dos alunos e com a falta de conhecimento sobre o local. Além disso, foram citadas a dificuldade em obter autorização dos pais ou responsáveis (5%) e a necessidade de planejamento prévio (5%).

As respostas dos educadores em relação às dificuldades para a realização de trabalhos de campo indicam a visão de que a APA se restringe à área da represa Itupararanga, bem como a dificuldade em desenvolver atividades que partam do contexto local. Tendo em vista que todas as escolas se inserem no território da APA Itupararanga, não é necessário que as aulas de campo ocorram nas proximidades da represa. As difi-

culdades apontadas pelos educadores podem ser amenizadas com a realização de estudos do meio em áreas próximas à escola, o que dispensa a necessidade de transporte, minimiza o receio dos professores em não conhecer o local e a burocracia envolvida para conseguir autorização dos responsáveis, além de resgatar o sentimento de pertencimento ao ambiente em que se inserem os educandos (CHAPANI & CAVASSAN, 1997; KRASILCHIK, 2008).

Além das modalidades didáticas sugeridas pelos educadores e educandos, outras atividades poderiam ser desenvolvidas para contemplar categorias de representações ambientais pouco citadas, porém fundamentais

para o desenvolvimento cognitivo e a reflexão crítica e para a redução de impactos ambientais por meio da participação coletiva. Dentre elas, podemos citar os estudos de caso e a resolução de problemas relacionados à realidade local, incluindo debates e discussões, de modo que os educandos possam compreender como as atividades que exercem localmente influem sobre a APA, e como os motivos de sua criação, seu propósito e a maneira como seu uso está ocorrendo afetam a comunidade. Assim, seriam estabelecidos os vínculos necessários entre aspectos socioeconômicos, políticos e ambientais, contextualizando efetivamente a população à UC (REIGOTA, 2009; GRANIT-DGANI *et al.*, 2016).

CONCLUSÕES

O estabelecimento de uma UC nem sempre inclui a contextualização efetiva das comunidades locais durante sua criação e gestão. No caso da APA Itupararanga, embora as escolas tenham sido utilizadas como espaço para a divulgação de informações ao público escolar, os conhecimentos referentes à UC têm atingido apenas uma pequena parcela dos educandos. Entre aqueles que tinham informações sobre sua existência, predomina a visão de que a APA se restringe à área da represa Itupararanga, não havendo conhecimento do fato de que o local onde moram e as escolas onde estudam estão inseridas nessa UC. Entre os educadores, embora a maioria tenha conhecimento da APA e de sua área de abrangência, existe dificuldade em associar o local ocupado pelas escolas à UC, não sendo a escola e seu entorno imediato compreendidos como possíveis locais para a realização de atividades abordando a APA Itupararanga.

Ambos os grupos de atores enfatizam a importância ecológica da UC, principalmente a preservação dos recursos hídricos, porém suas funções socioeconômicas, tais como turismo, abastecimento público, irrigação agrícola e geração de energia, não são citadas, não sendo percebida uma visão que integra as demandas humanas à conservação ambiental, considerada como premissa da sustentabilidade.

Nas escolas estaduais de Ibiúna, o entorno é pouco tratado, e a APA Itupararanga é abordada pela minoria dos educadores. Os temas discutidos enfatizam a gestão dos recursos naturais, porém não priorizam o resgate do sentimento de pertencimento à natureza e ao

local onde os educandos vivem, bem como o estímulo a ações coletivas. Isso reflete tanto o efeito do currículo inflexível quanto a insegurança dos educadores em realizar abordagens diferentes das tradicionais, que se dão por meio da transmissão de informações com base em temas previamente estabelecidos.

Nas intervenções do Conselho Gestor da APA realizadas nas escolas, destaca-se a abordagem de questões ambientais relacionadas aos principais impactos gerados na região com o intuito de mitigá-los. Porém, não são estabelecidas conexões entre a atividade desenvolvida e a APA, e pouco se discute sobre a importância e os motivos da criação da UC, sobretudo seus aspectos sociais, essenciais para a eficácia dessas ações.

De acordo com as narrativas de educadores e educandos, a inclusão da APA no cotidiano escolar pode trazer contribuições pedagógicas significativas, que envolvem o desenvolvimento de habilidades e sentimentos relacionados às variadas percepções de meio ambiente. Além dos temas e atividades citados, necessita-se de abordagens que incentivem a ação coletiva e a resolução de problemas, desenvolvendo o sentimento de pertencer ao ambiente e estabelecendo as relações necessárias entre aspectos socioeconômicos, políticos e ecológicos, essenciais para a redução de impactos ambientais e para a participação popular na UC.

Tornam-se necessárias ações de Educação Ambiental que promovam a contextualização do público escolar com a APA Itupararanga no município de Ibiúna. Para sua efetividade, essas ações devem envolver

fundamentalmente os educadores, promovendo sua familiarização e a compreensão de que o espaço onde as escolas estão localizadas, bem como seu entorno imediato, fazem parte do território da APA. Espera-se que isso estimule a conscientização e a sensibilização

dos educandos com base em uma abordagem integrada ao cotidiano e à proposta pedagógica da escola, por meio de diferentes modalidades didáticas, cabendo ao educador adequá-las à sua prática e à realidade em que se insere.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. D.; ALENCAR, L. D.; BARBOSA, M. F. N.; BARBOSA, E. M. Educação ambiental no ensino público: percepção dos professores de uma escola de Campina Grande-PB. *Espacios*, v. 37, n. 18, 2016. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a16v37n18/163718e5.html>>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- ANDRÉ, M. E. D. A.; LÜDKE, M. Métodos de coleta de dados: observação, entrevista e análise documental. In: _____; _____. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986. p. 25-44.
- BARROS, A. T. C.; ARAÚJO, J. N. Aulas de campo como metodologia para o ensino de ecologia no ensino médio. *Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 9, n. 20, p. 80-88, 2016.
- BENNETT, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology*, v. 30, p. 582-592, 2016.
- BENNETT, N. J.; DEARDEN, P. Why local people do not support conservation: community perceptions of marine protected area livelihood impacts, governance and management in Thailand. *Marine Policy*, v. 44, p. 107-116, 2014.
- BEU, S. E.; MISATO, M. T.; HAHN, C. M. APA de Itupararanga. In: BEU; S. E.; SANTOS, A. C. A.; CASALI, S. (Orgs.). *Biodiversidade na APA Itupararanga: condições atuais e perspectivas futuras*. São Paulo: SMA/FF/UFSCar/CCR – Via Oeste, 2011. p. 33-56.
- BRASIL. Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2000. 23 p.
- CARREGOSA, E. A.; CUNHA, S. L.; KUNHAVALIK, J. P. Unidade de Conservação e comunidade local: uma relação em construção. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 35, p. 305-319, 2015.
- CHAPANI, D. T.; CAVASSAN, O. O estudo do meio como estratégia para o ensino de ciências e educação ambiental. *Mimesis*, v. 18, n. 1, p. 19-39, 1997.
- COLLADO, S.; STAATS, H.; CORRALIZA, J. A. Experiencing nature in children's summer camps: Affective, cognitive and behavioural consequences. *Journal of Environmental Psychology*, v. 33, p. 37-44, 2013.
- DOODY, O.; NOONAN, M. Preparing and conducting interviews to collect data. *Nurse Researcher*, v. 20, n. 5, p. 28-32, 2013.
- DUARTE, J. G.; MAGALHÃES, H. G. D.; DA SILVA, L. H. O. Análise discursiva das práticas de educação ambiental no ensino fundamental: estudo de caso em uma escola municipal em Palmas (TO). *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 8, n. 1, p. 30-41, 2013.
- DUARTE, R. Pesquisa qualitativa: reflexões sobre o trabalho de campo. *Cadernos de Pesquisa*, v. 115, n. 1, p. 139-154, 2002.
- FALCÃO, W. S.; PEREIRA, T. B. A aula de campo na formação crítico/cidadã do aluno: uma alternativa para o ensino de Geografia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRÁTICA DE ENSINO EM GEOGRAFIA, 10., 2009, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS, 2009.

FIORI, A. *Ambiente e educação: abordagens metodológicas da percepção ambiental voltadas a uma Unidade de Conservação*. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)—Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

FRANTZ, C. M.; MAYER, F. S. The importance of connection to nature in assessing environmental education programs. *Studies in Educational Evaluation*, v. 41, p. 85-89, 2014.

GRANIT-DGANI, D.; KAPLAN, A.; FLUM, H. Theory-based assessment in environmental education: a tool for formative evaluation. *Environmental Education Research*, v. 23, n. 2, p. 269-299, 2016.

GUIMARÃES, M. Educação ambiental: participação para além dos muros da escola. In: BRASIL. Ministério da Educação. Departamento de Educação Ambiental. *Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola*. Brasília: Unesco, 2007. p. 85-93.

IBIÚNA. Prefeitura da Estância Turística de Ibiúna. *Represa de Itupararanga*. 2009. 1 fotografia: color; 7,94 × 10,56 cm. Disponível em: <<http://www.ibiuna.sp.gov.br/turistas/atrativos/ecologicos/pag.2>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

JACOBI, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Educação e Pesquisa*, v. 31, n. 2, p. 233-250, 2005.

KRASILCHIK, M. Modalidades didáticas. In: _____. *Prática de Ensino de Biologia*. São Paulo: Edusp, 2008. p. 77-120.

LIMA, R. A.; BRAGA, A. G. S. A relação da educação ambiental com as aulas de campo e o conteúdo de biologia no ensino médio. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 4, p. 1345-1350, 2014.

LÓPEZ-ALCARRIA, A.; GUTIÉRREZ-PÉREZ, J.; RODRÍGUEZ-SABIOTE, C.; POZA-VILCHES, F. The future is in childhood: evaluation of the quality of sustainability programmes in the early years. *SHS Web of Conferences*, v. 26, p. 1-7, 2016.

LÓPEZ-SANTIAGO, C.; OTEROS-ROZAS, E.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; PLIENINGER, T.; GONZÁLEZ MARTÍN, E.; GONZÁLEZ, J. Using visual stimuli to explore the social perceptions of ecosystem services in cultural landscapes: the case of transhumance in Mediterranean Spain. *Ecology and Society*, v. 19, n. 2, 2014.

LOUREIRO, C. F. B.; SAISSE, M. Educação ambiental na gestão ambiental pública brasileira: uma análise da SEMA ao ICMBio. *Revista de Educação Pública*, v. 23, n. 52, p. 105-129, 2014.

MACIEL, M. A. Unidades de conservação. Breve histórico e relevância para a efetividade do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. *Jus Navigandi*, v. 16, n. 2971, 2011. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/19809/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

MARCICANO, B. [Sem título]. 2008. 1 fotografia: color; 10 × 15 cm.

MAROTI, P. S.; SANTOS, J. E.; PIRES, J. S. R. Percepção ambiental de uma unidade de conservação por docentes do ensino fundamental. In: SANTOS, J. E.; PIRES, J. S. R. (Eds.). *Estudos integrados em ecossistemas: Estação Ecológica de Jataí*. São Carlos: RiMa, 2000. p. 207-217.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 9, n. 1, p. 41-64, 2006.

MEIJERS, F.; LENGELLE, R.; KOPNINA, H. Environmental identity and natural resources: a dialogical learning process. *Resources*, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2016.

OAIGEN, E. R.; DOMINGUES, B.; MATIAS, C.; ROHR, D. V.; SOMAVILLA, G.; SILVEIRA, M. L.; MIGLIAVACCA, C. Educação, ambiente e educação ambiental: as concepções históricas e epistemológicas da sociedade atual. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n. 1, p. 87-95, 2001.

- PALOMO, I.; MONTES, C.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; GONZÁLEZ, J. A.; GARCÍA-LLORENTE, M.; ALCORLO, P.; MORA, M. R. G. Incorporating the social-ecological approach in protected areas in the Anthropocene. *BioScience*, v. 64, n. 3, p. 181-191, 2014.
- REIGOTA, M. *O que é educação ambiental*. 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 2009.
- RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Unidades de Conservação brasileiras. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 27-35, 2005.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Fundação Florestal. Fotos – Uso e Ocupação do Solo na APA Itupararanga. 2008. 8 fotografias: color: 9 × 12,5 cm. In: _____. *Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga*. São Paulo: Fundação Florestal, 2009a.
- _____. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Fundação Florestal. *Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga*. São Paulo: Fundação Florestal, 2009b.
- SATO, M. *Educação ambiental*. São Carlos: RiMa, 2002.
- SAUVÉ, L. Educação ambiental: possibilidades e limitações. *Educação e Pesquisa*, v. 31, n. 2, p. 317-322, 2005.
- _____. Viver juntos em nossa Terra: desafios contemporâneos da educação ambiental. *Contrapontos*, v. 16, n. 2, p. 288-299, 2016. Disponível em: <<http://siaiap32.univali.br/seer/index.php/rc/article/view/8697>>. Acesso em: 16 jun. 2017.
- SCHENINI, P. C.; COSTA, A. M.; CASARIN, V. W. Unidades de Conservação: aspectos históricos e sua evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2004.
- SMIT, I. P.; ROUX, D. J.; SWEMMER, L. K.; BOSHOFF, N.; NOVELLIE, P. Protected areas as outdoor classrooms and global laboratories: intellectual ecosystem services flowing to-and-from a National Park. *Ecosystem Services*, 2017.
- STANIŠIĆ, J.; MAKSIĆ, S. Environmental education in Serbian primary schools: challenges and changes in curriculum, pedagogy, and teacher training. *The Journal of Environmental Education*, v. 45, n. 2, p. 118-131, 2014.
- TAVARES, R. V.; CAVALCANTE, A. B. A.; OLIVEIRA, H. M.; SILVA, E.; ALMEIDA, E. P. O. Conception of public school teachers in São José do Egito, Pernambuco, about Environmental Education. *Scientia Plena*, v. 12, n. 10, p. 1-8, 2016.
- TREAGUST, D. F.; AMARANT, A.; CHANDRASEGARAN, A. L.; WON, M. A case for enhancing environmental education programs in schools: reflecting on primary school students' knowledge and attitudes. *International Journal of Environmental and Science Education*, v. 11, n. 12, p. 5591-5612, 2016.
- TUAN, Y. F. *Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores sobre o meio ambiente*. New Jersey: Difel, 1980.
- VALDERRAMA-HERNÁNDEZ, R.; ALCÁNTARA, L.; LIMÓN, D. The complexity of environmental education: teaching ideas and strategies from teachers. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 237, p. 968-974, 2017.
- WATSON, J. E.; DUDLEY, N.; SEGAN, D. B.; HOCKINGS, M. The performance and potential of protected areas. *Nature*, v. 515, n. 7525, p. 67-73, 2014.
- ZORRILLA-PUJANA, J.; ROSSI, S. Environmental education indicators system for protected areas management. *Ecological Indicators*, v. 67, p. 146-155, 2016.

ESTUDO DO PROCESSO DE TORREFAÇÃO DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS PARA FINS ENERGÉTICOS

STUDY OF THE TORREFACTION PROCESS BIOMASS WASTES FOR ENERGY PURPOSES

Allison Gonçalves Silva

Químico pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) – Ilhéus (BA). Doutor em Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Salvador (BA). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Porto Seguro (BA), Brasil.

Thaise Alves dos Santos

Química pelo IFBA. Pós-graduanda em Ciência e Tecnologia Ambiental. Docente do IFBA – Porto Seguro (BA), Brasil.

Marcus Luciano Silva de Ferreira Bandeira

Químico pela UFBA. Doutor em Química pela UFBA – Salvador (BA). Docente do IFBA – Porto Seguro (BA), Brasil.

Priscila Ferreira de Oliveira

Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Rio de Janeiro (RJ). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IFBaiano) – Teixeira de Freitas (BA), Brasil.

Endereço para correspondência:

Allison Gonçalves Silva –
Rodovia BR-367, km 57,5, s/n –
Fontana I – 45810-000 – Porto
Seguro (BA), Brasil –
E-mail: allisongoncalves@ifba.edu.br

Recebido: 26/01/2017

Aceito: 30/06/2017

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar resíduos de coco, cacau e dendê — culturas largamente encontradas no Extremo Sul da Bahia —, verificando o efeito da torrefação a diferentes temperaturas (230, 240 e 250 °C) sobre essas biomassas, de modo a observar sua influência no poder calorífico superior (PCS) por meio de análise imediata, termogravimétrica e de microscopia eletrônica de varredura. A caracterização físico-química dos materiais secos e torreficados apontou uma tendência à diminuição dos teores de voláteis e de umidade, aumento dos teores de carbono fixo, de cinzas e do PCS, sendo essas características mais acentuadas a temperaturas mais altas. De modo geral, os experimentos realizados contribuíram para o maior potencial energético dos resíduos estudados. A biomassa de coco apresentou o maior PCS, sendo 24,59 MJ.kg⁻¹. Para a biomassa de coco torreficada, o aumento médio no PCS, com relação à biomassa seca, foi de 24,1%, para cacau 21,3% e para dendê 35,2%.

Palavras-chave: Extremo Sul da Bahia; biocombustíveis; dendê; cacau; coco.

ABSTRACT

The purpose of this work was to study coconut, cocoa and palm oil biomass products, all which are widely found in the Extreme South of Bahia, to investigate the effect of torrefaction at various temperatures (230, 240 and 250 °C) of these biomasses, and to verify the influence of torrefaction on the higher heating value (HHV), through proximate analysis, thermogravimetric and scanning electron microscopy. Results from the physical and chemical characterization of the dry torrefied materials indicated a trend of lower volatiles and moisture and higher fixed carbon content, ash content, and HHV, especially when subjected to the highest temperatures. In general, the experiments resulted in a higher energy potential for each biomass that was studied. The coconut biomass had the largest observed HHV at 24.59 MJ.kg⁻¹. Across all experiments, the dry torrefied coconut, cocoa and palm oil had average percent increases in HHV of 24.1%, 21.3% and 35.2%, respectively.

Keywords: Extreme South of Bahia; biofuels; palm oil; cocoa; coconut.

INTRODUÇÃO

Atualmente, observam-se várias pesquisas que visam ao desenvolvimento de diferentes fontes energéticas alternativas, para atender à demanda de energia mundial e contribuir para a redução do consumo de combustíveis fósseis e da agressão ao meio ambiente, evidenciando os conceitos de bioeconomia e sustentabilidade para o uso de biomassa (MUIZNIECE *et al.*, 2016; NAM *et al.*, 2016; AGAR *et al.*, 2015; AZADI *et al.*, 2017).

No Brasil, a utilização de biocombustíveis gerados a partir de biomassa está entre as principais alternativas energéticas, tornando-se instrumento de extrema importância para redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera; além disso, a cogeração de energia elétrica por meio de resíduos de biomassa também é uma fonte energética de grande potencial. O desenvolvimento de políticas públicas que incentivam o uso de biocombustíveis tende a crescer em razão da insegurança energética em âmbito mundial e do aumento dos preços de produtos relacionados diretamente a esse mercado. O Brasil possui perspectivas muito interessantes nesse sentido, sendo que as fontes renováveis têm uma participação de cerca de 50% em sua matriz energética, enquanto a média mundial é de aproximadamente 14%. Com isso, é possível que o Brasil ganhe grande visibilidade internacional no mercado bioenergético, o que torna este um setor economicamente promissor para o país (CNI, 2007; LOBÃO, 2008; SILVA *et al.*, 2005).

A biomassa energética apresenta rotas significativamente diversificadas, com extensa variedade de fontes, que vão desde os resíduos agrícolas, industriais e urbanos até as culturas dedicadas, com grande quantidade de tecnologias para os processos de conversão, tais como pirólise, gaseificação e combustão. Tais tecnologias têm sido cada vez mais aprimoradas, de modo a explorar ao máximo a eficiência da biomassa como alternativa energética (DODDAPANENI *et al.*, 2016). Diferentes procedimentos têm sido investidos a fim de melhorar as propriedades físicas da biomassa sólida, dentre os quais os tratamentos mecânicos, tais como a peletização e a briquetagem, que resultam em um produto da biomassa homogêneo e de alta densidade energética (CHAO *et al.*, 2015; IBRAHIM *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2017; RUDOLFSSON *et al.*, 2017). Outro tratamento aplicado para o condicionamento da biomassa é a torrefação. Este utiliza temperaturas mais baixas do que a pirólise e a gaseificação, resultando em um sólido com caracte-

rísticas energéticas superiores às da biomassa *in natura*. Quando a torrefação é associada à peletização, um biocombustível com alto potencial energético é obtido e pode ser usado na própria indústria em caldeiras e geradores de energia (SYAMSIRO *et al.*, 2012; STELTE, 2013; BRASIL, 2007; SILVA *et al.*, 2005).

A torrefação da biomassa desenvolve-se entre 200 e 300 °C, embora alguns autores recomendem não ultrapassar o limite de 280 °C, sendo que, nessas condições, a umidade é removida e a hemicelulose é degradada, provocando a liberação de ácido acético, frações de fenol e outros compostos de baixo poder calorífico (CIOLKOSZ; WALLACE, 2011; STELT *et al.*, 2013; PRINS *et al.*, 2006; CORTEZ *et al.*, 2008).

Em trabalho realizado por Chen *et al.* (2016), foi estudado o efeito do processo de torrefação a temperaturas de 225 a 300 °C em resíduos de pinheiro. Os autores concluíram que, quando a biomassa é torrificada a 250 °C, grande parte do bio-óleo produzido conduz a um menor teor de ácidos orgânicos, bem como a uma diminuição do teor de cinzas, demonstrando a importância do processo de torrefação antes de a biomassa ser pirolisada.

A utilização de resíduos de trigo e de arroz como biomassa para geração de energia foi proposta por Ciolkosz e Wallace (2011), que verificaram que as reações que ocorrem numa temperatura entre 200 e 300 °C são essencialmente: desvolatilização e carbonização da hemicelulose; despolimerização e desvolatilização de uma pequena parte da lignina (amolecimento); despolimerização e desvolatilização de parte da celulose. Como resultado, tem-se um rendimento de 70% de massa, rendimento energético de 90%, poder calorífico 17-19 MJ kg⁻¹ (poder calorífico inferior) para 18-23 MJ kg⁻¹ e com absorção de umidade entre 1 e 6%.

A utilização promissora da biomassa se dá também por diversos segmentos industriais e agroindustriais que precisam ser reaproveitados ou descartados corretamente para agregarem valor a variados processos produtivos (SABIL *et al.*, 2013; ARIAS *et al.*, 2008; CHEN; KUO, 2010; PROSKURINA *et al.*, 2017; LASEK *et al.*, 2017).

Nam *et al.* (2016) realizaram o processo de torrefação de três tipos de resíduos de biomassa, incluindo cachos de frutas, aglomerados de madeira e cascas de arroz, sendo avaliados em escala piloto, observando que esses resíduos

apresentam uma quantidade de absorção de água muito grande, o que diminui substancialmente o poder calorífico, sendo necessário o condicionamento dessas biomassas.

As biomassas selecionadas para serem estudadas no presente trabalho foram a casca de coco, a casca de cacau e a fibra de dendê, coletadas nos municípios de Porto Seguro e de Belmonte. De acordo com estimativas divulgadas pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2015), no ano de 2013 o Extremo Sul da Bahia contou com um total de 46.877 hectares de área plantada e colhida da cultura de cacau, 11.030 hectares de área plantada e colhida de coco e 9 hectares de área plantada e colhida de dendê — o que equivale a 15.288 toneladas de cacau, 70.117.000 frutos de coco e 42 toneladas de dendê. A exemplo de resíduos, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Brasil produz cerca de dois bilhões de cocos por ano e

cada fruto gera aproximadamente 1 kg de resíduo sólido, o que corresponde a cerca de 80% do peso bruto (SALES, 2011; A LAVOURA, 2012; MORORÓ, 2007; CEPLAC, 2014; EMBRAPA, 2012; CONAB, 2006; SEI, 2015).

Nesse contexto, a utilização dessas biomassas para a produção de biocombustíveis sólidos, por meio da torrefação, constitui uma importante alternativa para agregar valor produtivo a essas culturas e para auxiliar no avanço do desenvolvimento sustentável do Extremo Sul da Bahia. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar resíduos de coco, cacau e dendê, culturas largamente encontradas no Extremo Sul da Bahia, verificando o efeito da torrefação a diferentes temperaturas — 230, 240 e 250°C — sobre essas biomassas, observando, assim, sua influência no poder calorífico por meio de análise imediata, termogravimétrica e de microscopia eletrônica de varredura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Pré-tratamento dos resíduos

Realizou-se o pré-tratamento das biomassas conforme o *Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels* (ASTM) E 871-82 (ASTM, 1998a). Em seguida, triturou-se as biomassas (coco, dendê e cacau)

Processo de torrefação

Realizou-se a torrefação em forno mufla em que era alimentado com gás de arraste, inerte hélio (He). As temperaturas de torrefação utilizadas foram 230, 240 e 250°C. Todos os experimentos de torrefação foram realizados utilizando 5 g dos resíduos de biomassas em base seca e peneiradas (diâmetro de partícula entre 80 e 100 mesh), sendo aquecidos a uma

Análise imediata da biomassa

Inicialmente todas as amostras foram secas conforme ASTM E 871-82, que se refere ao teor de umidade. Em seguida, os materiais foram caracterizados por análise imediata: o teor de umidade foi obtido pela ASTM E 871-82; o teor de materiais voláteis foi de-

Estimativa do poder calorífico superior

A fim de avaliar o efeito da temperatura de torrefação, foram determinados os poderes caloríficos superiores

em um moinho de facas para posterior realização de todos os procedimentos e análises deste estudo (ASTM E 871-82, 1998). Esse método visou a diminuir o tamanho das partículas e a facilitar o processo de torrefação.

taxa de 10°C.min⁻¹ até a temperatura de torrefação e mantida por tempo programado, que foi de 60 min. Os resíduos torrificados foram armazenados em frascos para posterior caracterização (SILVA, 2013). O processo de torrefação visa a eliminar a hemicelulose, componente responsável pela maior absorção de umidade.

terminado pela ASTM E 872-82; o teor de cinzas foi determinado pela ASTM D 1102-84; e o teor de carbono fixo foi obtido por meio de uma relação entre os teores de materiais voláteis e de cinzas (EMBRAPA, 2012; ASTM, 1995; 1998b).

(PCS) para os resíduos em estudo, em MJ.kg⁻¹, de acordo com a Equação 1. Essa equação é uma correlação

estabelecida por Parikh *et al.* (2005) em seus estudos, por meio da qual é possível fazer estimativas do PCS de materiais, que variam desde materiais carbonáceos sólidos até todos os tipos de material de biomassa e carvão combustível derivados de resíduos, por meio de sua análise imediata (PARIKH *et al.*, 2005).

Análise termogravimétrica

Com a finalidade de quantificar os teores dos principais macrocomponentes presentes nas biomassas – celulose, hemicelulose e lignina –, realizou-se a análise termogravimétrica em um equipamento da empresa (marca) TA Instruments (modelo Q 500).

Microscopia eletrônica de varredura

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi empregada a fim de verificar a morfologia das superfícies das fibras tratadas, pelas quais se pode avaliar se houve a remoção, ainda que parcial, dos extraíveis amorfos das fibras. Para isso, as amostras foram fixadas em porta amostra com fita adesiva de carbono e metalizou-se com vapor de ouro por 1 minuto e 30

$$PCS = 0,3536CF + 0,1559MV - 0,0078ASH \quad (1)$$

Em que CF é o teor de carbono fixo; MV, o teor de voláteis; e ASH, o teor de cinzas — todos em percentual, obtidos nas análises das amostras.

Foram utilizados cerca de 10 mg da amostra; empregou-se uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, variando da temperatura ambiente até 700°C sob atmosfera inerte de nitrogênio (N_2) com fluxo de $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$.

segundos em metalizador da marca Quorum (modelo Q150R) para condução de elétrons e também para evitar o acúmulo de cargas com consequente destruição das amostras. As análises foram conduzidas no equipamento com detector de elétrons secundário, em MEV-Tescan (modelo Vega 3 LMU).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados por meio das análises das biomassas de coco, cacau e dendê, secas e torrificadas, possibilitaram uma avaliação acerca dos principais efeitos da torrefação nas propriedades físico-químicas dos materiais estudados.

O aspecto característico da biomassa torrificada pode ser observado na Figura 1, na qual se verifica o escurecimento gradual com o aumento da temperatura de torrefação.

Na Tabela 1, são apresentadas as principais características dos resíduos de biomassas, no que se refere à caracterização por análise imediata, bem como aos valores de PCS.

De acordo com o estudo de Chai e Saffron (2016), a presença de umidade na biomassa é importante em níveis adequados, pois processos mecânicos como a pelletização dependem da quantidade adequada de água presente na matriz da biomassa a ser processada, de modo a aumentar a durabilidade dos péletes produzidos. No entanto, altos teores de umidade acarream em menor potencial energético, pois a presença de água contribui para a inserção de energia que será consu-

mida em sua vaporização, para que depois se inicie a decomposição da biomassa (WANG *et al.*, 2017a).

Observa-se nos resultados expostos na Tabela 1 que há uma tendência ao aumento do poder calorífico devido à diminuição do teor de umidade nas biomassas torrificadas. Para a biomassa de coco seca, o PCS encontrado foi de $19,30\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, com um aumento de $22,71\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os resíduos torrificados a 230°C , $22,57\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 240°C e $22,59\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 250°C . Para os resíduos de cacau *in natura*, o PCS estimado foi de $19,12\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, aumentando para $22,54\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os resíduos torrificados a 230°C , $23,79\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 240°C e $23,24\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 250°C . E, para a fibra de dendê, o PCS foi de $17,05\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, subindo para $22,70\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os resíduos torrificados a 230°C , $22,89\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 240°C e $23,54\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os torrificados a 250°C . Essas observações estão de acordo com a literatura, indicando que grande parte do fenômeno em questão se deve à degradação do componente menos estável termicamente presente em biomassas, a hemicelulose, conforme estudos realizados por Wang *et al.* (2017b), que ava-

liaram o efeito da torrefação sobre as características de degradação da hemicelulose e seus subprodutos quando submetidos a pirólise.

Para a biomassa de coco, foi possível verificar que, de acordo com o aumento da temperatura de torrefação, houve a diminuição dos teores de umidade, partindo de 10,22% na biomassa seca para 4,98% na biomassa torreficada a 230°C, 3,29% na torreficada a 240°C e 3,20% na torreficada a 250°C; e de voláteis, 78,88% na biomassa seca caindo para 58,83% na torreficada a 230°C, 46,85% na torreficada a 240°C e 46,17% na torreficada a 250°C. Observou-se também o aumento dos teores de carbono fixo, indo de 19,84 para 38,4, 48,92 e 49,28% nas biomassas secas e torreficadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente; e também do teor de cinzas aumentando de

1,28 para 2,82, 4,23 e 4,56% nas biomassas secas e torreficadas a 230, 240 e 250 °C, respectivamente.

O teor de cinzas da biomassa de coco seca foi inferior aos valores encontrados por Nakashima *et al.* (2014) para as biomassas *in natura* de bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, capim elefante e podas de jardim, o que é interessante em razão do maior teor de cinzas contribuir negativamente durante os processos de combustão (NANDA *et al.*, 2016; BERGMAN; KIEL, 2005; VIEIRA, 2012).

O comportamento observado na análise imediata das biomassas de cacau foi bastante semelhante ao observado para as fibras de coco. Os teores de voláteis e de umidade diminuíram, o que contribuiu para o aumento do PCS; para voláteis, os valores variaram de 71,14% nos re-

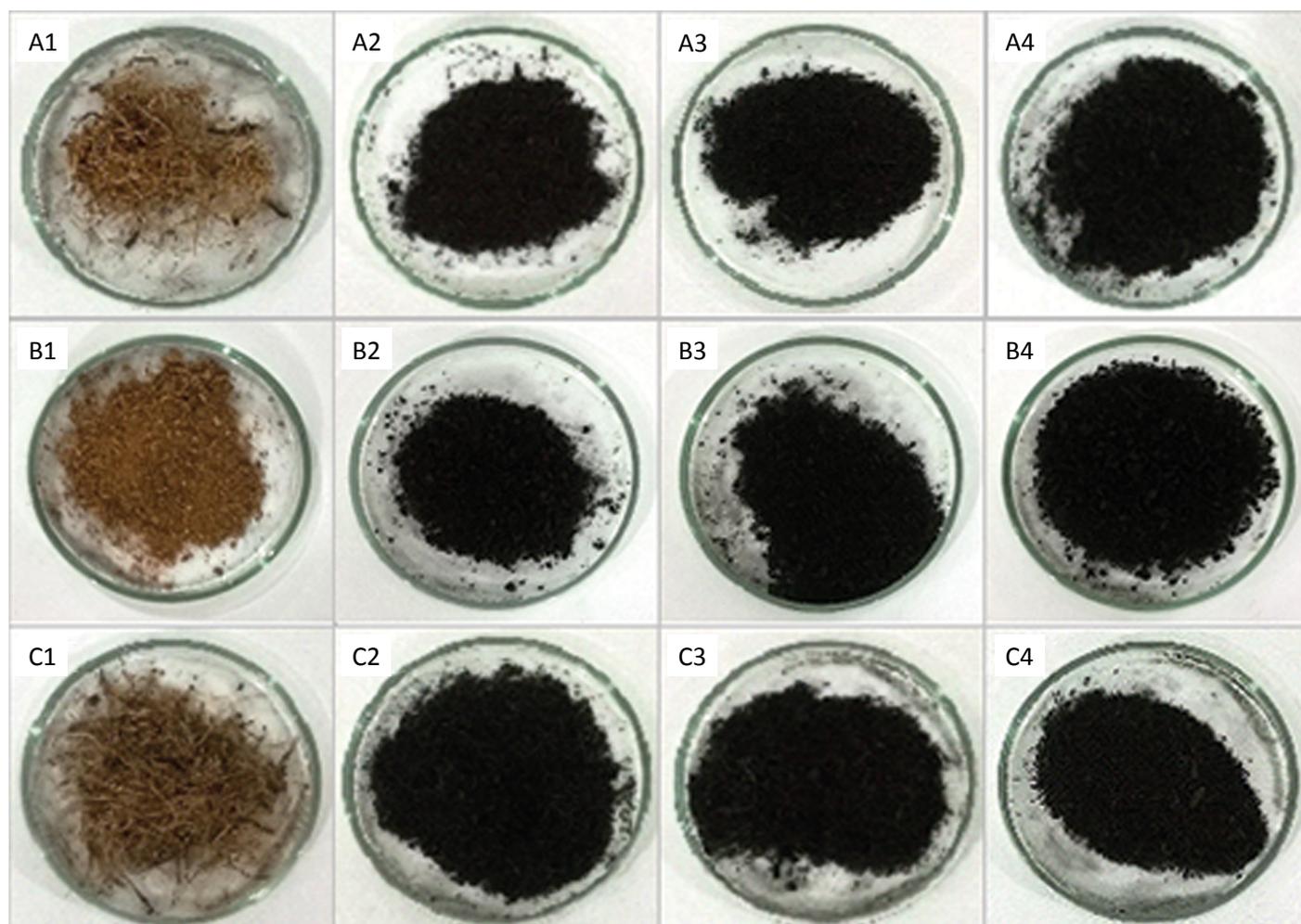


Figura 1 – Biomassa de coco: A1, *in natura*; de A2 a A4, torreficadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente. Biomassa de cacau: B1, *in natura*; de B2 a B4, torreficadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente. Biomassa de dendê: C1, *in natura*; de C2 a C4, torreficadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente.

síduos *in natura* para 47,59, 41,04 e 40,32% nas biomassas torrificadas a 230, 240 e 250 °C, respectivamente. Os teores de umidade diminuíram consideravelmente, variando de 9,36% nos resíduos secos para 1,46, 1,41 e 1,16% nas biomassas torrificadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente. O teor de carbono fixo aumentou de 22,84% na biomassa seca para 42,96, 49,38 e 48,20% nos resíduos torrificadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente. E o teor de cinzas variou de 6,02% na biomassa *in natura* para 9,44, 9,58 e 11,48% nos resíduos torrificadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente (NANDA *et al.*, 2016; BERGMAN; KIEL, 2005; VIEIRA, 2012).

Para os resíduos de dendê foi observada a diminuição do teor de umidade, variando este de 9,42% na biomassa seca para 5,28, 3,91 e 3,63% nos resíduos torrificadas a 230, 240 e 250 °C, respectivamente. O teor de voláteis também diminuiu, indo de 77,53% na biomassa *in natura* para 53,89, 53,17 e 50,18% na biomassa torrificada a 230, 240 e 250°C, respectivamente. O teor de carbono fixo aumentou de 14,22% nos resíduos secos para 40,57, 41,43 e 44,55% nos resíduos torrificadas a 230, 240 e 250°C, respectivamente. A diminuição dos teores de voláteis e de umidade e o maior teor de carbono fixo de acordo com o aumento da temperatura de torrefa-

ção seguiram as mesmas tendências observadas para as biomassas de coco e de cacau; já o teor de cinzas seguiu tendência contrária, diminuindo conforme o aumento da temperatura. Os valores obtidos foram 8,24% para a biomassa seca, 5,54, 5,41 e 5,26% para as biomassas torrificadas a 230, 240 e 250 °C, respectivamente.

A variação do teor de cinzas não segue uma tendência específica; é um fator que depende principalmente do material tratado, podendo ser influenciado pelo tratamento da cultura. Quanto mais alto o teor de cinzas, maiores as chances de se causar danos aos equipamentos de conversão térmica por meio da elevação do índice de *slagging* (incrustações). Desse modo, a diminuição do teor de cinzas para a biomassa de dendê é um fator muito importante, pois quando presentes no combustível as cinzas não são queimadas durante a combustão — geralmente, com composição química, silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe) (CONAB, 2006; TAVARES & SANTOS, 2013).

Segundo Tavares e Santos (2013), o poder calorífico superior está entre as características mais importantes para avaliar se há viabilidade na utilização de determinada biomassa vegetal na geração de energia. A esti-

Tabela 1 – Análise imediata e estimativa do poder calorífico superior dos materiais secos e torrificados (análises realizadas em triplicata).

Biomassa	Análise elementar	Biomassa seca	Torrificada 230°C	Torrificada 240°C	Torrificada 250°C
Coco	Voláteis (%)	78,88	58,83	46,85	46,17
	Cinzas (%)	1,28	2,82	4,23	4,56
	Carbono fixo (%)	19,84	38,34	48,92	49,28
	Umidade (%)	10,22	4,98	3,29	3,20
	PCS (MJ.kg ⁻¹)	19,30	22,71	24,57	24,59
Cacau	Voláteis (%)	71,14	47,59	41,04	40,32
	Cinzas (%)	6,02	9,44	9,58	11,48
	Carbono fixo (%)	22,84	42,96	49,38	48,20
	Umidade (%)	9,36	1,46	1,41	1,16
	PCS (MJ.kg ⁻¹)	19,12	22,54	23,79	23,24
Dendê	Voláteis (%)	77,53	53,89	53,17	50,18
	Cinzas (%)	8,24	5,54	5,41	5,26
	Carbono fixo (%)	14,22	40,57	41,43	44,55
	Umidade (%)	9,42	5,28	3,91	3,63
	PCS (MJ.kg ⁻¹)	17,05	22,70	22,89	23,54

mativa do PCS das biomassas em estudo foi feita com base nos teores de materiais voláteis, de carbono fixo e de cinzas (BERGMAN; KIEL, 2005).

Como se pode observar na Tabela 1, após a torrefação a tendência que predomina é um aumento do PCS dos biocombustíveis sólidos. Uma vez que o PCS sofre grande influência do teor de umidade, em razão da quantidade de energia que precisará ser disponibilizada para a vaporização da água contida no combustível, o fato de se observar a diminuição do conteúdo de umidade em todas as amostras torrificadas indica grande favorecimento do conteúdo energético desses resíduos após o condicionamento térmico (BERGMAN; KIEL, 2005).

Esses valores também permitem afirmar que, para as biomassas de coco e de dendê, a temperatura de torrefação que mais contribuiu para o aumento do PCS foi 250°C, e para o cacau, a de 240°C. Dentre as três biomassas analisadas, a que teve maior potencial energético, em todas as temperaturas de torrefação e *in natura*, foi a biomassa de coco. Isso pode estar relacionado com o teor de lignina presente nessa biomassa, pois, de acordo com Santos *et al.* (2016), a lignina possui porcentagens consideráveis de carbono elementar em sua composição, que irá gerar maiores teores de carbono fixo. A diminuição do PCS da biomassa de cacau torrificada a 250°C, com relação às tendências dos demais materiais, também se dá em razão da relação entre os teores de cinzas, de voláteis e de carbono fixo.

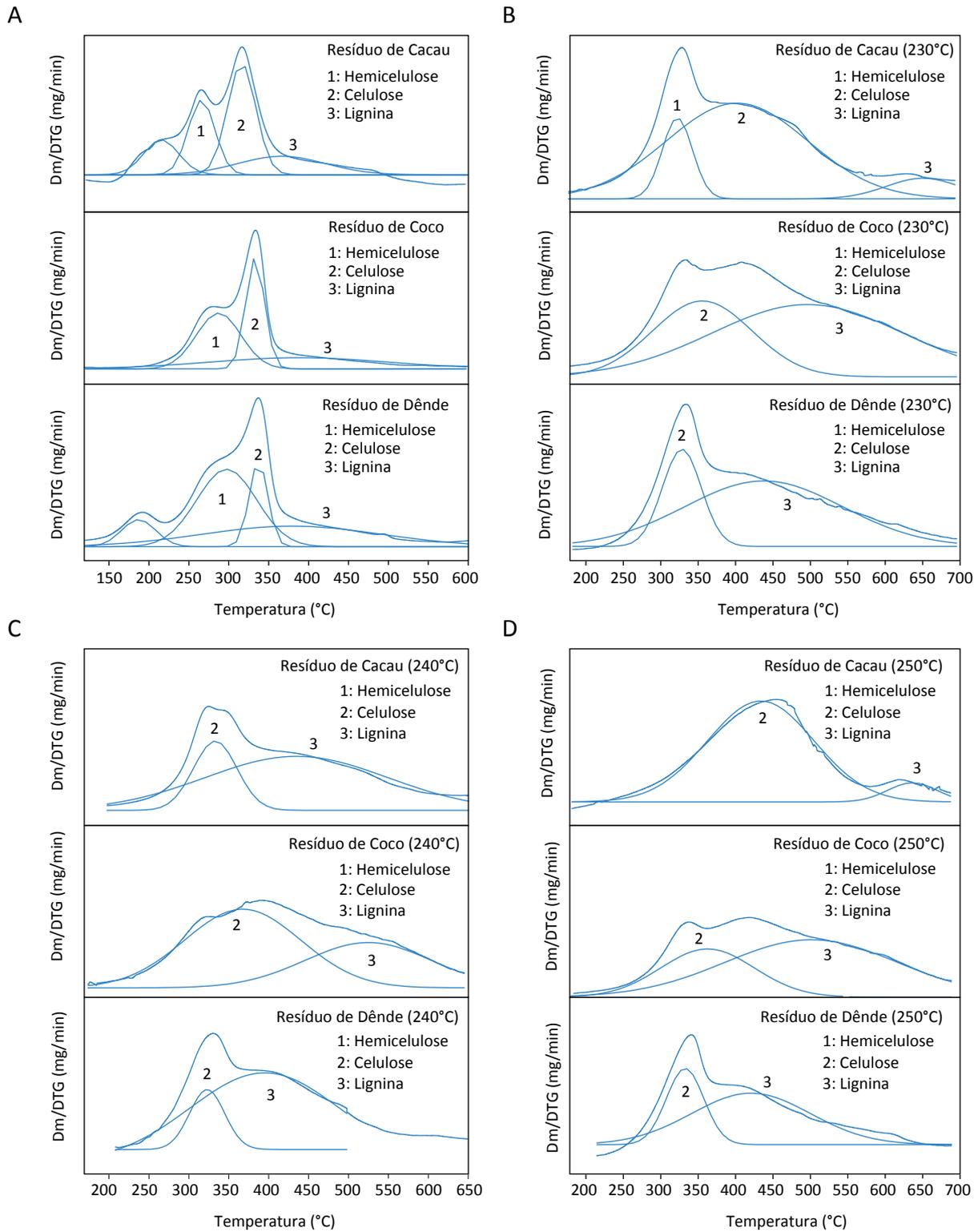
Neste trabalho, assim como reportado na literatura, é possível verificar que as biomassas analisadas possuem PCS relativamente altos. Nakashima *et al.* (2014) encontraram valores de PCS de 17,54 MJ.kg⁻¹, 16,78 MJ.kg⁻¹, 17,18 MJ.kg⁻¹ e 16,63 MJ.kg⁻¹ para as biomassas *in natura* de bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, capim elefante e podas de jardim, respectivamente. Arias *et al.* (2008) verificaram o valor de 21,8 MJ.kg⁻¹ para o PCS da biomassa de eucalipto torrificada a 240°C por tempo de residência de 1 h. Esse valor é mais baixo que o das biomassas de casca de coco, casca de cacau e fibra de dendê apresentados na Tabela 1.

Yue *et al.* (2017) investigaram o efeito do processo de torrefação nas temperaturas de 250, 275 e 300°C de resíduos de sorgo, sendo observado aumento do poder calorífico superior de 17 para 23,8 MJ.kg⁻¹, bem como sua densidade energética. Brostrom *et al.* (2012) encontraram o valor de 20,3 MJ.kg⁻¹ para o PCS de uma espécie de madeira não tratada e valores entre 20,6 e 27,8

MJ.kg⁻¹ para a mesma madeira torrificada a temperaturas acima de 500°C por tempo de residência entre 8 e 25 min. Apesar de os autores terem utilizado menor tempo de residência, as temperaturas de torrefação adotadas são bastante altas, fazendo com que alguns estudiosos classifiquem o processo térmico adotado por eles como pirólise, e não como torrefação. Almeida *et al.* (2010) verificaram valores de PCS entre 17,6 e 22,6 MJ.kg⁻¹ para a biomassa de casca de eucalipto das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, torrificadas a temperaturas entre 220 e 280°C por tempo de residência de 1 h, e valores entre 20,8 e 23,0 MJ.kg⁻¹ para a madeira da mesma biomassa torrificada às mesmas temperaturas e durante o mesmo tempo de residência, valores próximos aos encontrados neste trabalho. Chen e Kuo (2010) relacionaram os valores dos PCS das biomassas de bambu, salgueiro, casca de coco e figueira-benjamim *in natura* como 17,32, 18,37, 17,66 e 16,39 MJ.kg⁻¹, respectivamente, sendo que os valores encontrados em nosso trabalho para as biomassas de cacau e de dendê *in natura* apresentaram PCS maiores e a de coco um valor um pouco menor, porém ficando próximo ao valor encontrado pelos autores. Deng *et al.* (2009) investigaram o PCS da palha de arroz e do talo de colza, para a temperatura de 250 °C, encontrando os valores 18,03 MJ.kg⁻¹ e 20,10 MJ.kg⁻¹, respectivamente. Buratti *et al.* (2017) encontraram valores de PCS de 18,62 MJ.kg⁻¹ para biomassa de casca de café e 21,69 MJ.kg⁻¹ para resíduo de café usado, sendo esses valores menores que os encontrados para as biomassas torrificadas a 250 °C no presente trabalho.

A diminuição do teor de umidade observada se deve à degradação do macrocomponente mais instável termicamente, hemicelulose, que possui uma temperatura de degradação baixa, em torno de 160 e 200°C, e cuja presença indica que a biomassa possui grupos hidroxilas, o que favorece forte interação com moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio, o que aumenta o teor de umidade, diminuindo o PCS. Isso pode ser confirmado pela análise termogravimétrica, cujos resultados são apresentados na Figura 2.

A degradação da hemicelulose inicia-se a cerca de 160 °C; já a celulose e a lignina se decompõem a temperaturas mais elevadas, pois são mais resistentes à degradação e à decomposição térmica. A maioria das amostras torrificadas não apresentou o pico característico da hemicelulose. Tal fato indica que esse componente já não está presente nas biomassas após a tor-



Dm/DTG: derivada da massa em função da temperatura que responde linearmente ao tempo.

Figura 2 – Termogravimetria derivativa e deconvolução para os resíduos de biomassa: (A) *in natura*; (B) torreficada a 230°C; (C) torreficada a 240°C; (D) torreficada a 250°C.

refação, o que justifica a diminuição da umidade e do teor de voláteis, com conseqüente aumento do teor de carbono fixo e do poder calorífico superior das amostras após a torrefação (ROWELL, 2005; CHEN *et al.*, 2015; PELANDA *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2017a).

De acordo com as curvas termogravimétricas e de termogravimetria derivativa apresentadas na Figura 2, têm-se estimativas teóricas acerca da decomposição dos principais macrocomponentes das biomassas estudadas. A Figura 2A representa: a degradação da hemicelulose (curva 1); a da celulose (a curva 2); e a da lignina (curva 3). De acordo com as curvas de deconvolução, as biomassas *in natura* apresentam os picos correspondentes aos três macrocomponentes; porém, após sua torrefação a 230°C, a presença do pico correspondente à hemicelulose passa a ser notada apenas no resíduo de cacau, não sendo mais visto nos resíduos de coco e de dendê. Para as duas outras temperaturas de torrefação, 240 e 250°C, também não se observa a presença da hemicelulose, de acordo as curvas termogravimétricas.

As hemiceluloses são polissacarídeos que contêm uma grande quantidade de grupos hidroxila e, em razão da presença de ligações de hidrogênio nesses grupos, quanto mais hemicelulose houver na composição da biomassa, maior será a absorção de água e menor será o poder calorífico superior da mesma. A estimativa dos produtos de desvolatilização por meio das curvas de termogravimetria derivativa (DTG) (Tabela 2) também aponta, como esperado, para a diminuição do percentual de hemicelulose nas biomassas após a torrefação, evidenciando mais

uma vez que o tratamento térmico contribui realmente para o aumento do PCS dos resíduos estudados.

Nas curvas de DTG para as biomassas de cacau e de dendê *in natura* aparecem picos que podem estar relacionados a microcomponentes, como óleos e ceras, presentes nos resíduos analisados (CONAB, 2006).

Na Tabela 2 são apresentados os dados referentes à desvolatilização dos resíduos de biomassa.

Comparando-se os resultados na Figura 2 com a Tabela 2, observa-se que, quando as curvas referentes à hemicelulose diminuem, o teor de umidade decresce, elevando o poder calorífico das biomassas, com teores diminuindo de 24% para biomassa *in natura* a valores não detectáveis (<LD — limite de detecção do equipamento) para as amostras torreficadas, como observado na Tabela 2 (CHAO *et al.*, 2016).

Arias *et al.* (2008) utilizaram a análise termogravimétrica a fim de estudar a reatividade de amostras de biomassa, tendo encontrado também apenas dois picos na curva das biomassas torreficadas. Chen e Kuo (2010) mencionaram as vantagens da análise de materiais torreficados por termogravimetria em razão da grande precisão com que é possível medir o processo de perda de massa das biomassas, o que foi de grande relevância para o trabalho dos autores que investigaram, especialmente, o impacto dos processos de torrefação e pirólise nas estruturas lignocelulósicas de biomassas (STELTE *et al.*, 2013; PRINS *et al.*, 2006). Para os resíduos das biomassas torreficadas, observa-se, na Tabela 2, o aumento do teor de celulose e lignina em torno de 40 para 80% para

Tabela 2 – Produtos de desvolatilização dos resíduos de biomassa *in natura*, torreficados a 230, 240 e 250 °C.

Biomassa	Reação (zonas)	Biomassa seca	Torreficada 230 °C	Torreficada 240°C	Torreficada 250°C
Coco	1 (Hemicelulose %)	3,9	< L.D*.	< L.D*.	< L.D*.
Cacau		24,4	12,4	< L.D*.	< L.D*.
Dendê		5,8	< L.D*.	< L.D*.	< L.D*.
Coco	2 (Celulose %)	38,0	34,2	47,8	35,1
Cacau		44,4	57,6	19,3	68,2
Dendê		56,0	19,8	81,0	75,9
Coco	3 (Lignina %)	57,9	65,7	52,1	64,8
Cacau		57,2	30,0	80,7	31,7
Dendê		38,2	80,2	18,9	24,1

*Limite de detecção do equipamento de análise térmica é < 0,0001 mg.

as duas biomassa, sendo tal fato atribuído à diminuição dos teores de hemicelulose, corroborando com dados obtidos por Wang *et al.* (2017a).

As biomassa também foram caracterizadas por meio de MEV, de modo a estudar sua morfologia e modificações cau-

sadas pelo tratamento térmico em suas superfícies. As micrografias foram feitas com aumento de cerca de 500 vezes.

Na Figura 3A, micrografias para a biomassa de coco, é possível notar que a superfície da biomassa *in natura* é consideravelmente menos rugosa, quando comparada com

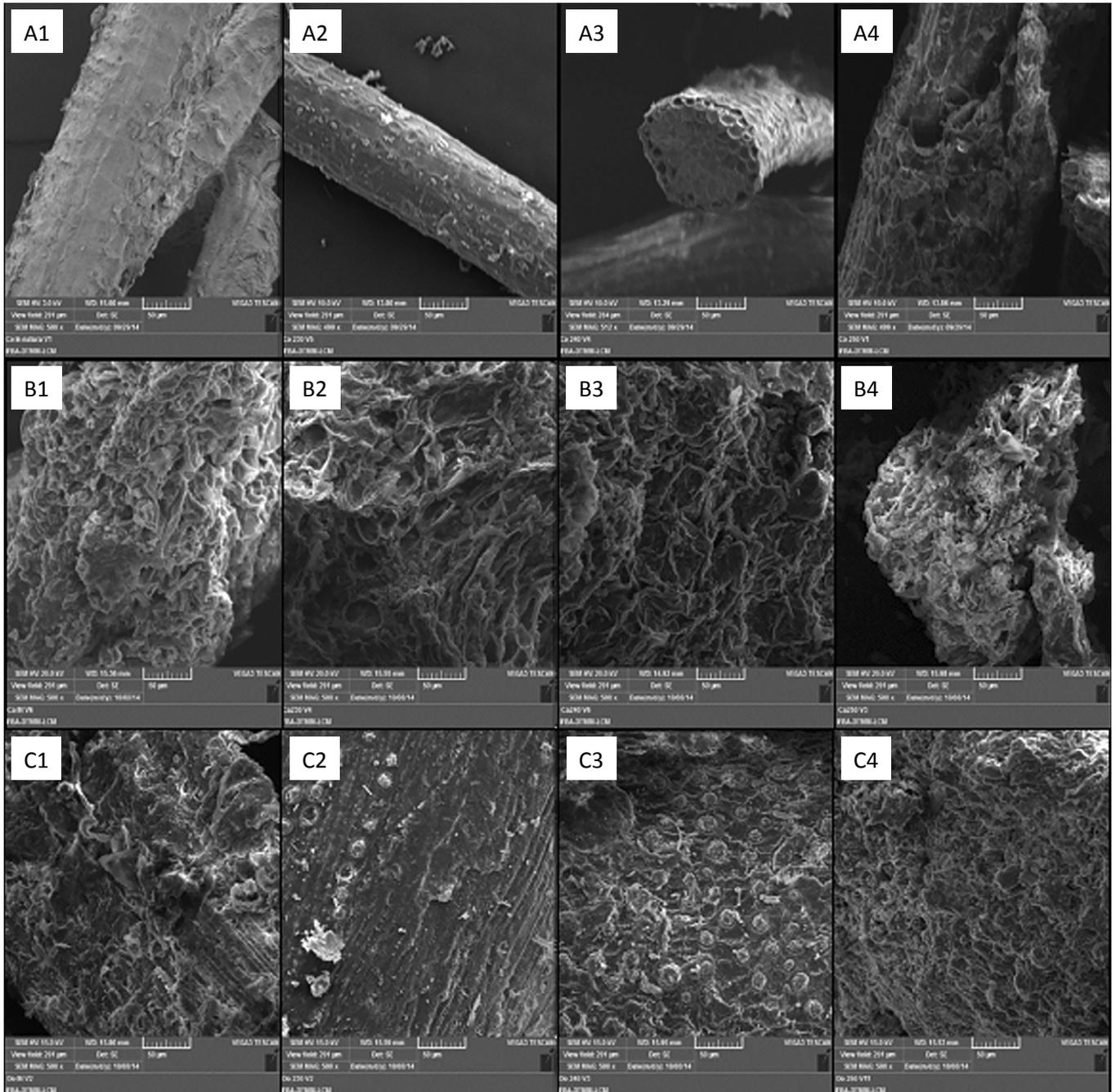


Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura para a biomassa de coco: A1, seca; de A2 a A4 torrificada a 230, 240 e 250°C, respectivamente. Para a biomassa de cacau: B1, seca; de B2 a B4, torrificada a 230, 240 e 250°C, respectivamente. Para a biomassa de dendê: C1, seca; de C2 a C4, torrificada a 230, 240 e 250°C, respectivamente.

as dos resíduos torreficados. As biomassas torreficadas tendem a possuir uma superfície fragilizada e descamada em razão do tratamento térmico que torna o material mais rígido. Como já foi dito, a hemicelulose é degradada durante a torrefação; sendo ela o principal componente responsável pela flexibilidade do vegetal, ao ser degradada, ocorre a perda dessa característica. A desvolatilização da hemicelulose após a torrefação também é evidenciada pelo desaparecimento dos pontos brancos observados no MEV da biomassa torreficada a 230°C. Na biomassa torreficada a 240 e a 250°C, pode-se observar sulcos, nos quais a hemicelulose se encontrava antes de sua degradação térmica pela torrefação (MISLJENOVIC *et al.*, 2015).

As micrografias para a biomassa de cacau (Figura 3B) não demonstraram haver muita diferença entre as su-

perfícies das fibras *in natura* e das fibras torreficadas, embora haja diferenças nas propriedades das amostras analisadas (*in natura* e torreficadas), uma vez que já foram mencionadas as diferenças entre os teores de umidade, de voláteis, de cinzas, de carbono fixo e o PCS delas.

Para a biomassa de dendê, as micrografias (Figura 3C) apresentaram certas mudanças dos resíduos *in natura* para os resíduos torreficados. Essas mudanças, no entanto, não foram tão perceptíveis quanto para a biomassa de coco, mas é possível notar a presença de pequenos pontos esbranquiçados, possivelmente hemicelulose, nas micrografias da biomassa *in natura* e torreficada a 230 e a 240°C, mas não estão presentes na biomassa torreficada a 250°C.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, pode-se verificar a influência do condicionamento térmico por meio da torrefação nas propriedades energéticas das biomassas de coco, cacau e dendê, bem como a comparação desses resultados com os obtidos para as biomassas *in natura*. Os dados obtidos permitem afirmar que o processo de torrefação melhorou o potencial energético dos resíduos estudados, causando o aumento de seu poder calorífico superior.

Das biomassas analisadas, a de coco foi a que apresentou o maior PCS em todas as temperaturas de torrefação e também *in natura*. A melhor temperatura de torrefação para as biomassas de coco e de dendê foi 250°C; para a biomassa de cacau, foi 240°C. Para a biomassa de coco torreficada, o aumento médio no

PCS, com relação à biomassa *in natura*, foi de 24,1%; para a de cacau, 21,3%; e para a de dendê, 35,2%.

Com base nesses dados, pode-se afirmar que o processo de condicionamento da biomassa, por meio do processo de torrefação, melhora consideravelmente o poder energético dos resíduos de coco, de cacau e de dendê, por meio da degradação de componentes que os fazem adsorver umidade e, conseqüentemente, abaxiam seu PCS. A comparação dos valores de PCS experimentais com alguns encontrados na literatura permite concluir que as biomassas estudadas podem ser aproveitadas como biocombustível sólido, uma vez que seus PCS são bastante próximos, e algumas vezes superiores, aos PCS de biomassas que já são utilizadas para a produção de carvão, o que torna o biocombustível sólido eficiente e sustentável do ponto de vista energético.

REFERÊNCIAS

A LAVOURA. Coco: Qual destino dar à casca? *A Lavoura*, n. 690, p. 26-30, 2012.

AGAR, D.; GIL, J.; SANCHEZ, D.; ECHEVERRIA, I.; WIHERSAARI, M. Torrefied versus conventional pellet production – A comparative study on energy and emission balance based on pilot-plant data and EU sustainability criteria. *Applied Energy*, n. 138, p. 621-630, 2015.

ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRE, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. *Bioresource Technology*, n. 101, p. 9778-9784, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *ASTM D 1102-84*: Standard Test Method for Ash in Wood. United States: ASTM International, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *ASTM E 871-82*: Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. United States: ASTM International, 1998a.

_____. *ASTM E 872-82*: Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. United States: ASTM International, 1998b.

ARIAS, B.; PEVIDA, C.; FERMOSO, J.; PLAZA, M. G.; RUBIERA, F.; PIS, J. J. Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of wood biomass. *Fuel Processing Technology*, n. 89, p. 169-175, 2008.

AZADI, P.; MALINA, R.; BARRETT, S. R. H.; KRAFT, M. The evolution of the biofuel science. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 76, p. 1479-1484, 2017.

BERGMAN, P. C. A.; KIEL, J. H. A. Torrefaction for biomass upgrading. *14th European Biomass Conference e Exhibition*, p. 17-21, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

BROSTROM, M.; NORDIN, A.; POMMER, L.; BRANCA, C.; BLASI, D. Influence of torrefaction on the devolatilization and oxidation kinetics of wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, n. 96, p. 100-109, 2012.

BURATTI, C.; BARBANERA, M.; LASCARO, E.; COTANA, F. Optimization of torrefaction conditions of coffee industry residues using desirability function approach. *Waste Management*, p. 1-12, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.012>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

CHAI, L.; SAFFRON, C. M. Comparing pelletization and torrefaction depots: Optimization of depot capacity and biomass moisture to determine the minimum production cost. *Applied Energy*, n. 163, p. 387-395, 2016.

CHAO, L.; YUAN, X.; JIANG, L.; LI, C.; XIAO, Z.; HUANG, Z.; CHEN, X.; ZENG, G.; LI, H. Thermogravimetric characteristics and kinetics analysis of oil cake and torrefied biomass blends. *Fuel*, v. 175, p. 129-136, 2016.

CHAO, L.; YUAN, X.; LI, H.; LI, C.; XIAO, Z.; JIANG, L.; HUANG, B.; XIAO, Z.; CHEN, X.; WANG, H.; ZENG, G. Complementary effects of torrefaction and co-pelletization: Energy consumption and characteristics of pellets. *Bioresource Technology*, v. 185, p. 254-262, 2015.

CHEN, H.; CHEN, X.; QUN, Y.; WEI, J.; LIU. Effect of torrefaction on the properties of rice straw high temperature pyrolysis char: Pore structure, aromaticity and gasification activity. *Bioresource Technology*, v. 228, p. 241-249, 2017.

CHEN, W.; PENG, J.; BI, X. T. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 44, p. 847-866, 2015.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy*, n. 35, p. 2580-2586, 2010.

CHEN, Y.; CAO, W.; ATREYA, A. An experimental study to investigate the effect of torrefaction temperature and time in pyrolysis of centimeter-scale pine wood particles. *Fuel Processing Technology*, v. 153, p. 74-80, 2016.

CIOLKOSZ, D.; WALLACE, R. A review of torrefaction for bioenergy feedstock production. *Biofuels Bioproduction Biorefineries*, v. 5, n. 3, p. 317-29, 2011.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA (CEPLAC). *Cacau: História e Evolução*. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/radar_cacau.htm>. Acesso em: 30 abr. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Dendeicultura da Bahia*. Bahia: CONAB, 2006.

- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Matriz energética: Cenários, oportunidades e desafios*. Brasília: CNI, 2007. 82 p.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. *Biomassa para energia*. Campinas: Editora Unicamp, 2008.
- DENG, J.; WANG, G.; KUANG, J.; ZHANG, Y.; LUO, Y. Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via torrefaction. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, n. 86, p. 331-337, 2009.
- DODDAPANENI, T. R. K. C.; KONTTINEN J.; HUKKA, T. I.; MOILANEN, A. Influence of torrefaction pretreatment on the pyrolysis of Eucalyptus clone: A study on kinetics, reaction mechanism and heat flow. *Industrial Crops and Products*, n. 92, p. 244-254, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Embrapa planeja aplicações para resíduos de dendê*. Brasil: Embrapa, 2012. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/embrapa-planeja-aplicacoes-para-residuos-dende-38764>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- IBRAHIM, R. H. H.; DARVELL, L. I.; JONES, J. M.; WILLIAMS, A. Physicochemical characterization of torrefied biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, n. 103, p. 21-30, 2013.
- LASEK, J. A.; KOPCZYNSKI, M.; JANUSZ, M.; ILUK, A.; ZUWALA, J. Combustion properties of torrefied biomass obtained from flue gas-enhanced reactor. *Energy*, v. 119, p. 362-368, 2017.
- LOBÃO, E. *A crise do petróleo e os biocombustíveis*. 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/fz2707200809.htm>>. Acesso em: 28 out. 2014.
- MISLJENOVIC, N.; MOSBYE, J.; SCHÜLLER, R. B.; LEKANG, O.-I.; SALAS-BRINGAS, C. Physical quality and surface hydration properties of wood based pellets blended with waste vegetable oil. *Fuel Processing Technology*, n. 134, p. 214-222, 2015.
- MORORÓ, R. C. Aproveitamento de derivados, subprodutos e resíduos do cacau. In: VALLE, R. R. (Ed.). *Ciência, tecnologia e manejo do cacau*. Ilhéus: Ceplac, p. 371- 421, 2007..
- MUIZNIECE, I.; KLAVINA, K.; BLUMBERGA, D. The impact of torrefaction on coniferous forest residue fuel. *Energy Procedia*, n. 95, p. 319-323, 2016.
- NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Aproveitamento de resíduos vegetais para a produção de briquetes. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 34, p. 22-29, 2014.
- NAM, S. B.; PARK, Y. S.; KIM, D. J.; GU, J. H. Torrefaction reaction characteristic of various biomass waste on pilot scale of torrefaction reaction system. *Procedia Environmental Sciences*, n. 35, p. 890-894, 2016.
- NANDA, S.; ISEN, J.; DALAI, A. K.; KOZINSKI, J. A. Gasification of fruit and agro-food residues in supercritical water. *Energy Conversion and Management*, v. 110, p. 296-306, 2016.
- PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, n. 84, p. 487-494, 2005.
- PELANDA, K. A.; POTULSKI, D. C.; SILVA, D. A.; FERRAZ, F. A. Avaliação das possíveis implicações do uso de diferentes biomassas florestais como biocombustível em geradores de vapor. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 6, n. 2, p. 112-121, 2015. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p112-121
- PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. More efficient biomass gasification via torrefaction. *Energy*, n. 31, p. 3458-3470, 2006.
- PROSKURINA, S.; HEINIMÖ, J.; SCHIPFER, F.; VAKKILAINEN, E. Biomass for industrial applications: The role of torrefaction. *Renewable Energy*, n. 111, p. 265-274, 2017.

- RAMOS, C.; VENTURA, J. E. A energia solar em Portugal: Potencialidades e diferenciação regional. *In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA*, 3., 1997, Porto. *Artigo...* Porto: Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, 1999. p. 453-461.
- ROWELL, R. M. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Flórida: CRC, 2005.
- RUDOLFSSON, M.; BORÉN, E.; POMMER, L.; NORDIN, A.; LESTANDER, T. Combined effects of torrefaction and pelletization parameters on the quality of pellets produced from torrefied biomass. *Applied Energy*, v. 191, p. 414-424, 2017.
- SABIL, K. M.; AZIZ, M. A.; LAL, B.; UEMURA, Y. Effects of torrefaction on the physiochemical properties of oil palm empty fruit bunches, mesocarp fiber and kernel shell. *Biomass and Bioenergy*, n. 56, p. 351-360, 2013.
- SALES, I. Resíduos do coco têm uso sustentável. *Diário do Nordeste*, Gestão Ambiental, 2011. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/residuos-do-coco-tem-uso-sustentavel-1.642525>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação Siringil/Guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.
- SILVA, A. G. *Condicionamento de resíduo de Eucalyptus grandis para produção de biocombustível sólido*. 131 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- SILVA, C. R. A. da *et al.* A biomassa como alternativa energética para o Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 2, p. 25-36, 2005.
- STELTE, W.; NIELSEN, N. P. K.; HANSEN, H. O.; DAHL, J.; SHANG, L.; SANADI, A. R. Pelletizing properties of torrefied wheat straw. *Biomassa e Bioenergia*, n. 53, p. 105-112, 2013.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). *Sistema de informações municipais: economia > agropecuária, silvicultura e extrativa vegetal > cultura por município > quantidade produzida*. Disponível em: <<http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp>>. Acesso em: 17 fev. 2015.
- SYAMSIRO, M.; SAPTOADI, H.; TAMBUNAN, B. H.; PAMBUDI, N. A. A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. *Energy for Sustainable Development*, n. 16, p. 74-77, 2012.
- TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de Diferentes Fontes de Biomassa Vegetal para Produção de Biocombustíveis Sólidos. *Holos*, p. 19-27, 2013.
- VIEIRA, A. C. *Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas*. 72 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- WANG, L.; BARTA-RAJNAI, E.; SKREIBERG, O.; KHALIL, R.; CZÉGÉNY, Z.; JAKAB, E.; BARTA, Z.; GRONLI, M. Impact of torrefaction on woody biomass properties. *Energy Procedia*, n. 105, p. 1149-1154, 2017a.
- WANG, S.; DAI, G.; RU, B.; ZHAO, Y.; WANG, X.; XIAO, G.; LUO, Z. Influence of torrefaction on the characteristics and pyrolysis behavior of cellulose. *Energy*, v. 120, p. 864-871, 2017b.
- WANG, S.; DAI, G.; RU, B.; ZHAO, Y.; WANG, X.; ZHOU, J.; LUO, Z.; CEN, K. Effects of torrefaction on hemicellulose structural characteristics and pyrolysis behaviors. *Bioresource Technology*, v. 218, p. 1106-1114, 2016.
- YUE, Y.; SINGH, H.; SINGH, B.; MANI, S. Torrefaction of sorghum biomass to improve fuel properties. *Bioresource Technology*, v. 232, p. 372-379, 2017.

DIAGNÓSTICO DOS INVENTÁRIOS DE FAUNA EM ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE ATERRO SANITÁRIO

DIAGNOSIS OF FAUNA INVENTORIES IN ENVIRONMENTAL IMPACT STUDIES OF LANDFILL

Dante Cavalhero Garcia

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) – Diadema (SP), Brasil.

Giovano Candiani

Professor Doutor Adjunto II no Departamento de Ciências Ambientais da UNIFESP – Diadema (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Giovano Candiani – Rua Antônio Doll de Moraes, 105 – Centro – 09920-540 – Diadema (SP), Brasil – E-mail: giovanocandiani@gmail.com

Recebido: 15/02/2017

Aceito: 06/07/2017

RESUMO

Levantamentos de fauna são alvo de inúmeras críticas por apresentarem muitas deficiências e, sobretudo, falta de qualidade. Assim, neste trabalho, realizou-se uma análise crítica dos levantamentos de fauna em 11 Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) associados a empreendimentos de aterros sanitários no estado de São Paulo. Os estudos foram analisados e comparados entre si, tendo como base de análise os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador para a realização dos levantamentos faunísticos. Os resultados identificaram carências como: falta de padronização em relação ao trabalho de campo, falta de padronização relacionada ao esforço amostral, falta de critério de sazonalidade, reduzida complexidade de análise em relação aos processos e interações ecológicas e diagnóstico ambiental excessivamente baseado em dados secundários (levantamentos bibliográficos). Conclui-se, assim, que os levantamentos de fauna nos EIAs devem ser aperfeiçoados de modo a contribuir para tomadas de decisão mais adequadas no processo de licenciamento ambiental, garantindo maior conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: gestão de resíduos sólidos; aterro sanitário; estudo de impacto ambiental; levantamento faunístico.

ABSTRACT

Fauna surveys are subject to numerous criticisms for presenting many deficiencies and, specially, lack of quality. Thus, in this work, a critical analysis of fauna surveys was carried out in eleven Environmental Impact Studies associated with landfill in the state of São Paulo. The studies were analyzed and compared to each other, based on the environmental licensing body criteria for faunistic surveys. The results identified deficiencies such as: lack of standardization in relation to field work, lack of standardization related to sampling effort, lack of seasonality criteria, reduced complexity of ecological processes and interactions and environmental diagnosis based on secondary data (bibliographic surveys). It is concluded that fauna surveys in the EIAs should be improved in order to contribute to better decision-making in the environmental licensing process, ensuring greater conservation of biodiversity.

Keywords: solid waste management; landfill; environmental impact assessment; faunistic survey.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos e, principalmente, sua gestão, é uma problemática ambiental preocupante e desafiadora. Constatada a precariedade do cenário de gerenciamento dos resíduos sólidos, sobretudo em relação à disposição final, alternativas se impõem como necessárias para torná-lo mais sustentável e integrado.

O uso de aterros sanitários para a disposição e o tratamento de resíduos sólidos é adequado, porém, mesmo com a adoção de procedimentos de controle, a prática implica riscos de contaminação ambiental, sendo, portanto, potencialmente poluidora e provocando alterações na paisagem e impacto nas comunidades biológicas (flora e fauna).

Os aterros sanitários são licenciados pelos órgãos ambientais competentes por meio de um processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) com base no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (SÁNCHEZ, 2013).

O EIA tem como objetivo descrever os impactos ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos. A Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 001/1981 regulamentou a elaboração do EIA. O art. 6º prevê o conteúdo mínimo do EIA, com os seguintes itens: diagnóstico ambiental da área de influência do empreendimento — considerando o meio físico (solo, subsolo, águas superficiais e subterrâneas, ar, clima etc.), o meio socioeconômico (uso e ocupação do solo, sítios arqueológicos, economia, educação, saúde etc.) e o meio biológico (ecossistemas, flora, fauna etc.) —, análise dos impactos ambientais, definição das medidas mitigadoras e compensatórias e programas ambientais (ATTANASIO JUNIOR, 2015).

No diagnóstico ambiental, o meio biótico está relacionado a aspectos biológicos, o que exige trabalhos de campo. Os levantamentos de fauna demandam especialistas em vários grupos zoológicos, usualmente ornitólogos (aves), mastozoológicos (mamíferos), herpetólogos (répteis e anfíbios), ictiólogos (peixes) e, eventualmente, entomólogos (insetos). As espécies são normalmente categorizadas segundo critérios como:

- grau de sensibilidade às interferências antrópicas;
- dependência de ambientes florestais;
- endemismo;

- identificação de espécies ameaçadas de extinção;
- espécies raras e bioindicadoras.

Esses censos visam, no mínimo, à elaboração de uma lista de espécies para cada grupo faunístico selecionado. Levantamentos quantitativos de fauna, como censos populacionais, são raros, pois requerem grande esforço de campo e tempo, poucas vezes disponível na realização dos EIAs. Assim, os levantamentos de fauna nos EIAs recebem críticas em vários aspectos. Daí a importância de avaliar tais estudos e suas metodologias (SÁNCHEZ, 2013).

A CETESB (2014) exige minimamente, nos levantamentos:

- esforço amostral;
- identificação de espécies invasoras e migratórias;
- levantamento primário (trabalho de campo); e
- metodologia utilizada.

Silveira (2006) salienta que um inventário deve conter a descrição completa de fauna e flora, levando-se em consideração as interações ecológicas, e que há dois métodos para essa caracterização: o qualitativo, que consiste em avaliar principalmente a riqueza das espécies da comunidade, e o quantitativo, que tem como objetivo principal a análise do número de espécies e seu tamanho populacional. Normalmente, nos levantamentos, os EIAs selecionam os táxons a serem amostrados e, quase sempre, escolhem aves e mamíferos na fauna e na flora, espécies arbóreas, aspecto que limita consideravelmente a qualidade dos estudos, principalmente no que diz respeito à biodiversidade e às interações ecológicas entre espécies em determinado ecossistema (SANTOS, 2003).

Estudos referentes à fauna em EIAs apontam inúmeras deficiências, com destaque para:

- falta de informações sobre animais invertebrados;
- ausência da identificação de áreas de reprodução e alimentação; e

- carência de informações relacionadas a aspectos comportamentais, interações ecológicas, espécies-chave e bioindicadoras (SHERER, 2011; PINTO & ALEXANDRINO, 2016).

Silveira *et al.* (2010) salientam que outros aspectos analisados de forma incorreta nos censos de fauna em EIAs estão relacionados à metodologia utilizada, à sazonalidade e ao tempo gasto na amostragem de cada área selecionada. Pinto e Alexandrino (2016), ao analisarem 19 EIAs, entre 2012 e 2015, no estado de São Paulo, relataram que a grande maioria dos estudos apresenta problemas de qualidade dos levantamentos de fauna, apontando inúmeras carências. Muitos estudos encontrados na literatura apontam problemas que vão desde a formação de recursos humanos até o desenho experimental, a seleção de métodos e a ausência de padronização desses para a condução dos inventários de fauna em EIAs (WEGNER *et al.* 2005; THOMPSON, 2007; DUARTE *et al.*, 2017; LACY *et al.*, 2017). Apesar da existência de orientações por parte do órgão ambiental licenciador para a elaboração dos diagnósticos de fauna, é possível dizer que os censos de fauna nos

processos de licenciamento ambiental são deficitários, apresentando inúmeras falhas, tais como:

- não realização de levantamento de campo;
- listas de espécies incompletas;
- ausência de dados sobre esforço amostral em campo; e
- falta de registros de espécies endêmicas e exóticas.

Portanto, compreender melhor os aspectos e impactos ambientais relacionados à disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários, bem como avaliar a qualidade geral dos EIAs desses empreendimentos e, sobretudo, dos diagnósticos ambientais — incluindo os levantamentos de fauna —, torna-se fundamental para garantir a conservação da biodiversidade. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma análise crítica das principais deficiências encontradas em diagnósticos de fauna de EIAs de aterros sanitários no estado de São Paulo, contribuindo com recomendações que podem ser incorporadas às instruções e orientações normativas de modo a melhorar a qualidade dos diagnósticos de fauna.

MATERIAL E MÉTODOS

Estudos de Impacto Ambiental

Os EIAs foram selecionados após consultas ao *site* da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por meio do *link*: <http://licenciamentoambiental.cetesb.sp.gov.br/eia-rima/>. Os critérios de seleção foram os seguintes: empreendimentos associados a aterros sanitários, últimos cinco anos (2010 a 2015), disponibilidade em versão eletrônica (digital) e execução do estudo por empresas de consultoria diferentes. Identificaram-se 15 EIAs, dos quais 11 atendiam aos critérios de seleção estabelecidos e, portanto, foram analisados. Os EIAs são documentos públicos, de acesso livre e prontamente disponíveis para consulta presencial ou pelo *site* da CETESB (<http://www.cetesb.sp.gov.br/>).

Procedimento metodológico

Este trabalho se caracteriza como estudo de caso e pesquisa documental, analisando dados obtidos dos levan-

Por questões éticas, não serão divulgados os nomes das empresas de consultoria responsáveis pela execução dos EIAs. Os EIAs de aterros sanitários são identificados somente pela localização do empreendimento e caracterizados da seguinte maneira: Aterro Amparo (Estudo 1), Aterro São Paulo (Estudo 2), Aterro Guataparã (Estudo 3), Aterro Itu (Estudo 4), Aterro Marília (Estudo 5), Aterro Mogi das Cruzes (Estudo 6), Aterro Osasco (Estudo 7), Aterro Palmeiras (Estudo 8), Aterro Paulínia (Estudo 9), Aterro São Carlos (Estudo 10) e Aterro Santos (Estudo 11). A Tabela 1 apresenta uma caracterização geral dos empreendimentos estudados.

tamentos faunísticos realizados nos EIAs de aterros sanitários. Os 11 EIAs selecionados foram analisados e, para

Tabela 1 – Caracterização geral dos empreendimentos e respectivos Estudos de Impacto Ambiental.

Empreendimento/EIA	Localização	Tamanho do empreendimento (ha)	Principais impactos ambientais significativos	Status atual do licenciamento ambiental
Aterro Amparo (Estudo 1)	Rodovia SP 352, no município de Amparo/SP.	109	Perda de vegetação nativa e de <i>habitats</i> para fauna.	Em tramitação (EIA em análise)
Aterro São Paulo (Estudo 2)	Avenida Sapopemba, 22.254, no município de São Paulo-SP.	112	Instabilidade do maciço sanitário e incômodo à população.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro Guataparã (Estudo 3)	Estrada Vicinal ART 270, no município de Araçatuba-SP.	74	Riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro Itu (Estudo 4)	Fazenda São Benedito, 424, no município de Itu-SP.	23	Ocorrência de processos erosivos e alteração da qualidade das águas.	Em tramitação (EIA em análise)
Aterro Marília (Estudo 5)	Rodovia SP 333, no município de Marília-SP.	69	Riscos à saúde da população e instabilidade geotécnica.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro Mogi das Cruzes (Estudo 6)	Fazenda Taboão do Parateí, no município de Mogi das Cruzes-SP.	225	Intervenções em áreas de preservação permanente e riscos de contaminação.	EIA reprovado (processo arquivado)
Aterro Osasco (Estudo 7)	Rua Sérgio Ribeiro da Silva, no município de Osasco-SP.	11	Instabilidade geotécnica e incômodo à população.	Em tramitação (EIA em análise)
Aterro Palmeiras (Estudo 8)	Rodovia Deputado Laércio Corte, km 130, no município de Piracicaba-SP.	55	Alteração da qualidade do ar e riscos de contaminação.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro Paulínia (Estudo 9)	Estrada Municipal PLN, Km 190, no município de Paulínia-SP.	40	Incômodo à população e riscos de alteração da qualidade das águas.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro São Carlos (Estudo 10)	Rodovia Luiz Augusto de Oliveira, km 162, no município de São Carlos-SP.	56	Riscos de geração de odores e impactos sobre recursos hídricos.	EIA aprovado (licença de operação)
Aterro Santos (Estudo 11)	Rodovia Cônego Domenico Rangoni, km 254,9, no município de Santos-SP.	254	Desmatamento, perda de <i>habitats</i> e instabilidade geotécnica.	EIA reprovado (processo arquivado)

EIA: Estudo de Impacto Ambiental.

a coleta dos dados, foi desenvolvido um quadro-síntese de análise para cada um deles, incluindo os seguintes itens (critérios de análise):

- listagem de espécies;
- identificação de espécies raras e/ou ameaçadas de extinção;
- identificação de espécies invasoras;
- identificação de espécies bioindicadoras;
- identificação de interações ecológicas;
- riqueza de espécies;
- metodologias de campo;

- esforço amostral; e
- impactos relativos à fauna, conforme o Manual de Procedimentos para Elaboração de Estudos para o Licenciamento com Avaliação de Impacto Ambiental da CETESB (CETESB, 2014).

Esses critérios apresentaram como fundamento a própria indicação da CETESB como diretriz essencial à elaboração dos diagnósticos faunísticos e a tendência apontada na literatura de críticas ao não cumprimento desses itens nos EIAs por parte dos empreendedores (SILVEIRA, 2006; BRASIL, 2009; SCHERER, 2011; KUNIY, 2013; CETESB, 2014). A partir da elaboração desse quadro-síntese de critérios foi possível comparar os EIAs estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 11 EIAs analisados, 6 foram aprovados pelo órgão ambiental licenciador (estudos 2, 3, 5, 8, 9 e 10), 2 foram reprovados (estudos 6 e 11) e 3 encontram-se em análise (estudos 1, 4 e 7). Com o cenário atual provisório, mais da metade dos estudos apresentados foram aprovados, e esse quadro poderá se ampliar com a possível aprovação dos três empreendimentos ainda em tramitação no órgão ambiental. Em relação aos impactos ambientais significativos mensurados nos estudos, verificam-se impactos relacionados a desmata-

mento e interferências à fauna, alteração da qualidade do ar e das águas, instabilidade geotécnica e incômodo à população. No geral, os empreendimentos apresentam alternativas técnico-operacionais semelhantes às utilizadas para o controle e a mitigação de impactos, destacando-se a elaboração de programas ambientais. Especificamente para a fauna, são apresentados programas de monitoramento de aves e mamíferos. A Tabela 2 mostra os resultados da comparação entre os critérios nos EIAs dos aterros estudados. De maneira

Tabela 2 – Comparação geral dos critérios utilizados na análise dos Estudos de Impacto Ambiental.

Critérios	Estudos (EIAs)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Listagem de espécies	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Identificação de espécies raras e/ou ameaçadas de extinção	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Identificação de espécies invasoras	P	P	P	P	P	P	A	A	P	A	A
Identificação de espécies migratórias	A	A	A	A	P	A	A	P	A	P	P
Identificação de espécies bioindicadoras	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Identificação de interações ecológicas	P	P	A	A	P	P	P	A	P	A	A
Riqueza de espécies	P	P	P	P	P	A	A	P	P	A	P
Metodologias de campo	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Esforço amostral	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Impactos à fauna	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

EIA: Estudo de Impacto Ambiental; P: presente; A: ausente.

geral, foi possível verificar a ausência de critérios nos estudos faunísticos analisados, ou seja, o não cumprimento total dos itens determinados nas normas do órgão ambiental para levantamentos de fauna. No entanto, isso não determinou a reprovação do levantamento pelo órgão ambiental, o qual, muito provavel-

mente, aprovou-o considerando que a grande maioria dos critérios estabelecidos foi apresentada. Somente o Estudo 5 (Aterro Marília) cumpriu todos os critérios em seu EIA. Os Estudos 7 e 10, Aterro Osasco e Aterro São Carlos, respectivamente, foram os que atenderam menos critérios.

Listagem de espécies com identificação de exemplares raros e/ou ameaçados de extinção

Todos os EIAs avaliados apresentaram listagem de espécies e caracterização do *status* de conservação. Entretanto, não há padronização na apresentação desses dados, que são organizados em tabelas por alguns estudos e citados de maneira descritiva por outros. A falta de padronização nos levantamentos de fauna, de modo geral, acaba prejudicando a comparação adequada entre os EIAs. A Tabela 3 mostra a consolidação dessas informações, considerando os EIAs analisados. Identificaram-se 240 espécies de mamíferos, das quais 12 foram classificadas como quase ameaçadas; 21, como vulneráveis; 5, em perigo; e 1, em perigo crítico. As ordens Artiodactyla e Carnivora apresentaram, juntas, 12 espécies classificadas como vulneráveis, o que indica que esses grupos possuem significativa sensibilidade a mudanças ambientais relacionadas à perda e/ou fragmentação dos *habitats*. Ciocheti (2008) ressaltou que a urbanização e o consequente desmatamento acabam fragmentando os *habitats*, impactando diretamente a fauna.

A única espécie de mamífero encontrada classificada como em estado crítico foi o mico-leão-de-cara-preta (*Leontopithecus caissara*), espécie endêmica da Mata Atlântica e considerada a mais ameaçada da família dos Calitriquídeos (RYLANDS *et al.*, 2002). Sua condição de risco se deve, principalmente, a fatores como: restrita distribuição geográfica, baixa densidade populacional, isolamento populacional e perda de *habitat*

(BRASIL, 2009). Considerando os 11 EIAs estudados, que em termos de área total representam 1.028 hectares, pode-se dizer que a ocorrência de espécies em perigo crítico foi baixa. Entretanto, os micos-leões-de-cara-preta são muito suscetíveis a mudanças no ambiente e, portanto, sua conservação está condicionada à manutenção das florestas em estágios sucessionais climáticos (MARTINS *et al.*, 2015). As espécies mais comuns encontradas nos EIAs foram: gambá-de-orelha-preta (*Didelphis aurita*), gambá-de-orelha-branca (*Didelphis albiventris*) e tatu-galinha (*Dasypus novemcinctus*), que se caracterizam por serem mais generalistas, adaptando-se melhor às alterações nos ecossistemas. Foram identificadas 473 espécies de aves (Tabela 3), das quais 10 são classificadas como quase ameaçadas; 6, em perigo; 10, vulneráveis; e 4, em perigo crítico. A família Psittacidae possui duas espécies em estado de perigo crítico: a arara-canindé (*Ara ararauna*) e a maracanã-pequena (*Diopsittaca nobilis*), as quais não apresentam alta sensibilidade a mudanças ambientais, mas sofrem com o tráfico de animais.

As espécies mais comuns relatadas nos EIAs foram: urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*), periquitão-maracanã (*Aratinga leucophthalma*), bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) e sabiá-laranjeira (*Turdus rufiventris*), caracterizando ambientes com histórico de intervenção antrópica. Identificaram-se 151 espécies de anfíbios e répteis (Tabela 3), das quais 2 foram consideradas em

Tabela 3 – Espécies identificadas nos Estudos de Impacto Ambiental.

Táxons	Número total de espécies	Conservação (status)* Número de espécies			
		Quase ameaçadas	Vulneráveis	Em perigo	Perigo crítico
Mamíferos	240	12	21	5	1
Aves	473	10	6	10	4
Herpetofauna	151	-	4	2	-

*Portaria MMA nº 444/2014 (BRASIL, 2014) e Decreto Estadual nº 60.133/2014 (SÃO PAULO, 2014).

perigo e 4, vulneráveis. As principais espécies catalogadas foram caracterizadas como pouco sensíveis a mudanças ambientais antrópicas. Uma espécie bastante comum encontrada foi a rã-touro americana (*Lithobates catesbeianus*), espécie exótica invasora. Os EIAs avaliados se referem a empreendimentos implantados nos biomas Cerrado e Mata Atlântica. A identificação de espécies típicas do Cerrado em fragmentos de Mata Atlântica, como a gralha-do-campo (*Cyanocorax cristatellus*), é um indicativo disso e também reforça a existência de estudos em áreas de transição. Esses dois biomas são considerados *hotspots*, possuindo grande biodiversidade, mas, ao mesmo tempo, encontram-se ameaçados por ações antrópicas, aspecto que potencializa a necessidade da conservação ambiental

Identificação de espécies exóticas, migratórias, bioindicadoras e interações ecológicas

Em sete EIAs relatou-se a presença de espécies exóticas, sendo as mais comuns: cachorro doméstico (*Canis familiaris*), cavalo (*Equus caballus*), boi (*Bos taurus*) e gato doméstico (*Felis catus*), espécies domésticas e introduzidas por ação antrópica. A presença de animais domésticos pode interferir nas interações ecológicas do ecossistema, principalmente pela competição por recursos com espécies nativas e/ou endêmicas (MARGARIDO & BRAGA, 2004). Outros animais exóticos encontrados nos EIAs foram: camundongo (*Mus musculus*), ratazana (*Rattus norvegicus*), rato-preto (*Rattus rattus*), lebre-europeia (*Lepus europaeus*), rã-touro americana (*Lithobates catesbeianus*), pombo doméstico (*Columba livia*) e bico-de-lacre (*Estrilda astrild*). A grande maioria das espécies exóticas amostradas possui baixa sensibilidade às ações antrópicas, sendo que algumas, como os roedores e o pombo doméstico, se beneficiam da presença humana.

Além das espécies exóticas, as migratórias também podem influenciar nos inventários faunísticos. No entanto, somente três EIAs apresentaram em suas listagens espécies migratórias da avifauna, sendo as mais comuns: suiriri (*Tyrannus melancholicus*), noivinha-branca (*Xolmis velatus*), andorinha-serradora (*Stelgidopteryx ruficollis*), andorinha-de-sobre-branco (*Tachycineta leucorrhoa*), andorinha-doméstica-grande (*Progne chalybea*), príncipe (*Pyrocephalus rubinus*), irré (*Myiarchus swainsoni*), bem-te-vi-rajado (*Myiodynastes maculatus*), bem-te-vizinho-de-penacho-vermelho (*Myiozetetes similis*), tesourinha (*Tyrannus sa-*

(REIS *et al.*, 2011). No estado de São Paulo encontram-se atualmente somente cerca de 7% da vegetação nativa de Mata Atlântica. O processo de fragmentação dos *habitats* promoveu grandes mudanças na composição faunística, sobretudo em relação às espécies de aves, levando à extinção de algumas (REIS *et al.*, 2011). Um aspecto positivo nos EIAs foi a verificação de que todos apresentaram as listagens de espécies e seus *status* de conservação, o que se encontra em conformidade com as normativas estabelecidas pelo órgão ambiental licenciador (CETESB, 2014). Esse resultado, aparentemente, não é a realidade de outros EIAs pelo Brasil, como apontou o relatório do Ministério Público Federal (BRASIL, 2004; SILVEIRA, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2010; SCHERER, 2011).

vana), sabiapoca (*Turdus amaurochalinus*), tipio (*Sicalis luteola*) e coleirinho (*Sporophila caerulea*). Vasconcelos (2006) comenta que a não identificação de espécies migratórias nos EIAs pode ser uma indicação de que o trabalho em campo foi insuficiente ou o período do censo foi realizado em época de pouca atividade migratória. O autor ressalta ainda a importância das condições climáticas e dos períodos do ano (sazonalidade) como aspectos que influenciam na identificação e no número de espécies amostradas. Outra categoria importante são as espécies bioindicadoras, caracterizadas por apresentarem alta sensibilidade a alterações ambientais. Em geral, aves, mamíferos e anfíbios constituem ótimos indicadores ecológicos (BLAUSTEIN, 1994; ALLEGRINI, 1997; HADDAD; HODL, 1997; HADDAD, 1998; CAREY *et al.*, 2001). A avifauna é o principal grupo utilizado como indicador ambiental, devido às seguintes características: conhecimento sistemático e taxonômico (FURNESS & GREENWOOD, 1993; BECKER, 2003), sensibilidade à perda de *habitat* e fragmentação (TURNER, 1996; LOURES-RIBEIRO *et al.*, 2011; ANJOS, 2006) e interações ecológicas com a flora (HOWE & SMALLWOOD, 1982; WUNDERLE JR., 1997; JORDANO *et al.*, 2011). Todos os EIAs avaliados apresentaram em suas listagens as espécies bioindicadoras, porém a maioria não as caracterizou no trabalho de campo, e sim por meio de dados da literatura. Dos EIAs que apresentaram espécies bioindicadoras, a partir do censo de campo, as principais foram: pomba-amargosa (*Patagioenas plumbea*), rato-do-mato (*Euryoryzomys russatus*), chocão-carijó (*Hypoedaleus guttatus*) e sa-

racura-três-potes (*Aramides cajaneus*). Com a análise dos EIAs foi possível evidenciar a existência de grande número de espécies com baixa sensibilidade ambiental, o que indica que as áreas de implantação dos aterros sanitários apresentam ação antrópica. As espécies citadas são generalistas e se adaptam melhor aos ambientes perturbados, sendo as mais comuns: tiziu (*Volatinia jacarina*), sanhaçu-cinzento (*Tangara sayaca*), periquitão-maracanã (*Psittacara leucophthalmus*), pica-pau-de-banda-branca (*Dryocopus lineatus*), besourinho-de-bico-vermelho (*Chlorostilbon lucidus*), corujinha-do-mato (*Megascops choliba*), capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), caracará (*Caracara plancus*), quero-quero (*Vanellus chilensis*) e urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*). Seis EIAs registraram a existência de interações ecológicas, destacando-se, por

exemplo, interação flora-fauna entre espécies arbóreas como a palmeira jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e algumas espécies de figueiras (*Ficus sp.*) e espécies animais como esquilos (*Sciurus aestuans*), pacas (*Cuniculus paca*), cachorros-do-mato (*Cerdocyon thous*) e loboguará (*Chrysocyon brachyurus*), principalmente no que se refere à dispersão de sementes. A existência de interações entre espécies de bromélias e anfíbios também foi relatada nos EIAs, bem como aspectos relacionados à polinização. Entretanto, as interações foram apenas mencionadas, sem discussões mais efetivas. Alterações nas interações ecológicas promovidas pela fragmentação de habitats, por exemplo, não foram analisadas suficientemente. As interações ecológicas são fundamentais para a manutenção da biodiversidade nos ecossistemas (ANDREAZZI *et al.*, 2009).

Metodologias de campo, esforço amostral e riqueza de espécies

A Tabela 4 apresenta as metodologias de campo dos inventários faunísticos dos EIAs. Salienta-se que todos os EIAs apresentaram suas metodologias. Foi possível evidenciar a utilização de diferentes métodos, muito provavelmente devido à realização dos estudos por diferentes empresas de consultoria ambiental e também pela não existência de padronização quanto à execução dos censos (ESBERARD & BERGALLO, 2008).

A Figura 1 apresenta uma síntese das metodologias utilizadas nos levantamentos de fauna nos EIAs estudados.

Nota-se que, em relação à mastofauna, a maioria dos EIAs utilizou investigação direta (busca visual/auditiva) e armadilhas (de interceptação/queda, fotográficas e rede de neblina). Quanto à avifauna, a maioria dos EIAs usou metodologia de busca visual/auditiva e Método de MacKinnon (transectos). E, em relação à herpetofauna, a maioria dos EIAs fez uso de metodologia de busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda. Ocorreu predomínio de metodologias de investigação, incluindo buscas visuais e auditivas, técnicas mais simples e rápidas. Verificou-se o uso de rede de neblina nos censos de mastofauna, indicando a ocorrência do levantamento de morcegos, normalmente não realizado nos EIAs (CETESB, 2014). Quanto aos métodos que envolvem a captura de animais, a CETESB não os prioriza, sugerindo metodologias de busca visual, auditiva e armadilhas fotográficas, técnicas bastante utilizadas nos EIAs, atendendo a essa diretriz. Nos levantamentos da avifauna foi possível constatar o uso do Método

de MacKinnon, que consiste em listar 20 espécies diferentes registradas por buscas visuais e auditivas ao longo de trilhas (transectos), sendo que cada lista só pode conter espécies diferentes entre si e indivíduos que ainda não foram contados (MACKINNON, 1991). Porém, os EIAs apresentaram listas com dez espécies, como propõem Herzogh *et al.* (2002), o que aumenta o número de unidades amostrais para uma mesma área e diminui o risco de uma mesma espécie ser registrada mais de uma vez.

Segundo Sutherland (2004), as principais metodologias usadas em levantamentos de mastofauna são: contagem direta; transectos; e armadilhas e vestígios diretos (pegadas, fezes e abrigos). Todas essas técnicas foram utilizadas nos EIAs, mas nem sempre combinadas no mesmo estudo, aspecto constatado anteriormente por relatório do Ministério Público Federal (BRASIL, 2004). Neste trabalho foi apontada a necessidade de ampliar as metodologias utilizadas nos EIAs, além de aprimorar a descrição dos métodos e intensificar o esforço amostral nos trabalhos de campo.

A Tabela 5 mostra o esforço amostral dos EIAs. Foi possível verificar que todos os EIAs, de alguma maneira, apresentam seus esforços amostrais, alguns mais completos — como o Estudo 1 — e outros com praticamente nenhuma informação — como o Estudo 7. Não existe padrão quanto ao critério esforço amostral. Cada estudo define o seu método, principalmente em relação ao número de censos, horas e/ou dias de campo e mês do

levantamento, corroborando o trabalho de Kuniy (2013), que relatou a falta de padronização dos censos de fauna nos EIAs. A CETESB determina os seguintes itens: data das coletas, esforço amostral (curva do coletor) e período sazonal (CETESB, 2014). Em relação ao número de censos, somente o Estudo 1 apresentou adequadamente esse critério, determinando minimamente dois censos para todos os grupos de fauna, inclusive estabelecendo-os em dois períodos do ano (abril e dezem-

bro), considerando um tempo maior entre as coletas e melhorando a questão da sazonalidade, aspecto importante nos levantamentos de campo (Tabela 5). Em comparação aos EIAs do Estudo 1, nenhum dos outros apresentou as informações de maneira adequada. A grande maioria indicou somente os dias ou as horas de campo e o mês da coleta. Em relação à análise do esforço amostral nos levantamentos faunísticos, a CETESB sugere o uso da curva do coletor (CETESB, 2014).

Tabela 4 – Metodologias de campo dos levantamentos de fauna dos Estudos de Impacto Ambiental.

Metodologias de campo	Mastofauna	Avifauna	Herpetofauna
Estudo 1	Investigação direta (busca visual/auditiva), métodos indiretos (vestígios) e armadilhas de interceptação/queda, fotográficas e rede de neblina.	Método de MacKinnon (transectos).	Busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda.
Estudo 2	Busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda e fotográficas.	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda.
Estudo 3	Busca visual/auditiva e armadilhas fotográficas.	Método de MacKinnon (transectos).	Busca visual/auditiva.
Estudo 4	Investigação direta (busca visual/auditiva), métodos indiretos (vestígios) e armadilhas de interceptação/queda, fotográficas e rede de neblina.	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda.
Estudo 5	Busca visual/auditiva e armadilhas fotográficas.	Busca visual/auditiva e Método de MacKinnon (transectos).	Busca visual/auditiva.
Estudo 6	Busca visual/auditiva e métodos indiretos (vestígios).	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva.
Estudo 7	Investigação direta (busca visual/auditiva), métodos indiretos (vestígios) e armadilhas de interceptação/queda e fotográficas.	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva.
Estudo 8	Métodos indiretos (vestígios) e armadilhas fotográficas.	Método de MacKinnon (transectos).	Busca visual/auditiva.
Estudo 9	Investigação direta (busca visual/auditiva) e armadilhas fotográficas.	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva.
Estudo 10	Investigação direta (busca visual/auditiva), métodos indiretos (vestígios) e armadilhas de interceptação/queda, fotográficas e rede de neblina.	Busca visual/auditiva e rede de neblina.	Busca visual/auditiva e armadilhas de interceptação/queda.
Estudo 11	Investigação direta (busca visual/auditiva) e armadilhas fotográficas.	Busca visual/auditiva.	Busca visual/auditiva.

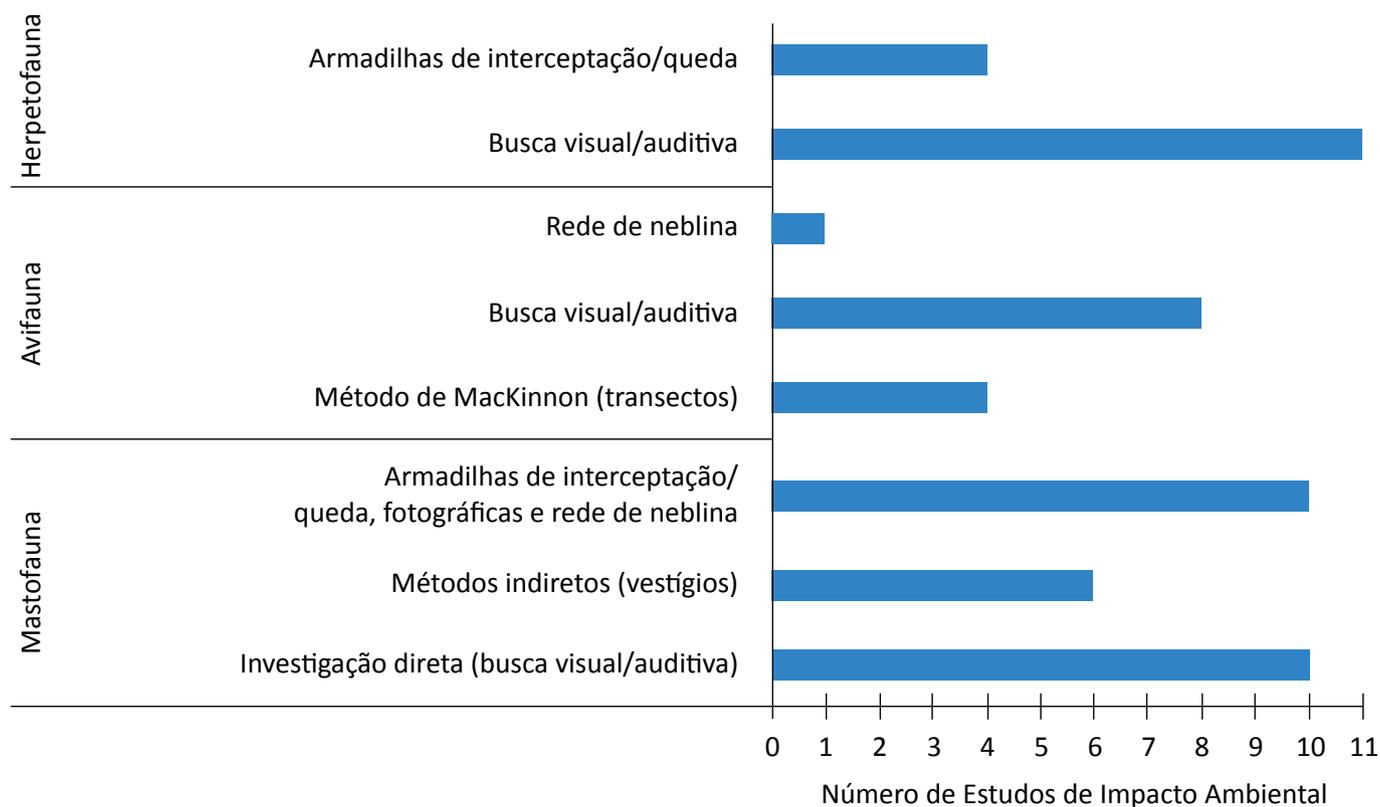


Figura 1 – Metodologias utilizadas nos levantamentos de fauna nos Estudos de Impacto Ambiental estudados.

Tabela 5 – Esforço amostral dos Estudos de Impacto Ambiental.

Estudos de Impacto Ambiental	Esforço amostral								
	Mastofauna			Avifauna			Herpetofauna		
	Nº censos	Horas /Dias de campo	Meses censos	Nº censos	Horas/Dias de campo	Meses censos	N.º censos	Horas /Dias de campo	Meses censos
Estudo 1	4	89 horas	janeiro	2	4 dias	abril e dezembro	2	5 dias	abril e dezembro
Estudo 2	-	6 dias	junho	-	5 dias	junho	-	7 dias	junho
Estudo 3	-	8 dias	fevereiro	-	5 dias	março	-	5 dias	fevereiro
Estudo 4	3	50 horas	-	-	7 dias	janeiro	-	3 dias	abril
Estudo 5	-	120 horas	agosto	-	4 dias	agosto	-	4 dias	agosto
Estudo 6	-	3 dias	outubro	-	5 dias	outubro e novembro	-	3 dias	outubro
Estudo 7	-	-	-	-	30 horas	-	-	-	-
Estudo 8	-	5 dias	maio	-	3 dias	maio	-	15 horas	-
Estudo 9	-	720 horas	setembro e novembro	-	20 horas	outubro	-	40 horas	outubro e novembro
Estudo 10	-	90 dias	maio a julho	-	90 dias	maio a julho	-	90 dias	maio a julho
Estudo 11	-	688 horas	outubro	-	48 horas	novembro	-	5 dias	outubro

Foi possível verificar que todos os EIAs apresentaram curvas acumulativas de espécies, as quais se revelaram menores do que o esperado, considerando-se a curva de estimação de *Jackknife*, utilizada pelos estudos como padrão de comparação. Esse aspecto pode estar relacionado ao fato de as áreas selecionadas para a implantação dos aterros sanitários serem influenciadas por ações antrópicas, com redução da biodiversidade nos *habitats*. A riqueza de espécies de um *habitat* é determinada por fatores ambientais e esforços amostrais, ou seja, quanto maior o esforço amostral, maior a probabilidade de inclusão de novas espécies (ESBERARD & BERGALLO, 2008;

Identificação de impactos à fauna

Todos os EIAs apresentaram identificação de impactos à fauna, sendo que os principais foram: perda ou alteração de *habitat*, afugentamento da fauna e mortalidade associada a atropelamentos. Outros impactos de destaque foram: aumento da frequência e da população de determinadas espécies da avifauna, como urubu, carcará e pombo doméstico, atração e adensamento de espécies potencialmente transmissoras de doenças e aumento da pressão relacionada à caça de animais silvestres.

Foi possível notar uma padronização dos impactos à fauna nos EIAs. A perda ou alteração de *habitat* está associada ao desmatamento necessário para a implantação das células operacionais de recebimento dos resíduos sólidos nos aterros sanitários. Os atropelamentos se referem à movimentação dos caminhões que transportam resíduos sólidos pelas vias internas de acesso aos aterros. Os desmatamentos e a geração de ruído relacionada aos caminhões e tratores são responsáveis pelo afugentamento da fauna. O aumento da frequência e da população das espécies da avifauna mencionadas e a atração e o adensamento de espécies potencialmente transmissoras de doenças são impactos típicos de aterros sanitários. Esses animais são potencialmente atraídos pela disponibilidade de alimentos durante o descarregamento dos resíduos sólidos urbanos (restos alimentares, carcaças de animais etc.) e pela proliferação de odor relacionada à biodegradação dos componentes orgânicos presentes nesses resíduos. O aumento da pressão relacionada à caça de animais silvestres está ligado à presença constante de pessoas nos aterros sanitários e nas áreas do entorno. Todos os EIAs apresentaram medidas mitigadoras relacionadas aos impactos à fauna, sendo possível destacar

SILVEIRA *et al.*, 2010). Foi possível verificar deficiências nos EIAs em relação ao critério esforço amostral, o que corrobora a tendência caracterizada na literatura (FAIR-WEATHER, 1994; BRASIL, 2004; WEGNER *et al.*, 2005; THOMPSON, 2007; SCHERER, 2011; SILVEIRA *et al.*, 2010; PRADO *et al.*, 2014). Assim, evidenciou-se a preocupação com os seguintes itens: prazos insuficientes para o trabalho de campo, ausência de dados sobre sazonalidade e deficiências na amostragem de campo. A falta de critérios amostrais prejudica a qualidade dos estudos, tornando-os ineficientes na previsão dos impactos dos empreendimentos sobre a fauna de um *habitat*.

as seguintes: reflorestamento com espécies florestais nativas, monitoramento de fauna (silvestres e sinantrópicas), cobertura com camadas de solo dos resíduos sólidos nos aterros sanitários, redução de velocidade e ruídos dos veículos e implantação de programas de educação ambiental. Os impactos associados à fauna mencionados nos EIAs estão em conformidade com as diretrizes do órgão ambiental licenciador (CETESB, 2014). O Ministério Público Federal, em seu relatório de análise dos EIAs, aponta deficiências em relação às medidas mitigadoras para a fauna, observando que tais ações são insuficientes para mitigar os impactos (BRASIL, 2004). Os EIAs avaliados não atendem a todos os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental, e mesmo as normas e diretrizes não preveem alguns itens fundamentais, como a especificação detalhada do esforço amostral e da sazonalidade.

O aperfeiçoamento dos EIAs é uma tendência mundial. Para compensar impactos à biodiversidade, muitos países estão adotando os chamados “*Biodiversity Offsets*” (OECD, 2016), que se referem a compensações pela perda de biodiversidade que não pode ser evitada ou adequadamente minimizada. Assim, esses impactos devem ser compensados para evitar a perda líquida de biodiversidade. No Brasil, a aplicação desse conceito se encontra em análise e discussão. A CETESB sancionou recentemente uma nova regulamentação para os laudos de fauna nos EIAs: a Decisão de Diretoria (DD) nº 167/2015/C (CETESB, 2015), que objetiva minimizar as deficiências encontradas nos estudos de fauna.

Pinto e Alexandrino (2016) relatam as seguintes deficiências encontradas nos censos de fauna dos EIAs: não realização de levantamento de campo; listas de

espécies incompletas; e ausência de dados sobre o registro de espécies exóticas. Tais constatações influenciam na qualidade dos estudos e, conseqüentemente, acarretam prejuízo para a conservação das espécies (PRIMACK, 2001; TRAJANO, 2010).

Nesse contexto, a DD nº 167/2015/C apresenta muitos aperfeiçoamentos normativos em relação à análise da fauna silvestre nativa, apontando que os relatórios de fauna devem englobar os seguintes grupos de vertebrados: mamíferos, aves, répteis e anfíbios e ictiofauna — quando da interferência em ambientes aquáticos. Os levantamentos devem conter ainda a descrição detalhada da metodologia de campo por grupo estudado, explicitando o período de observação, os locais/pontos de amostragem e a utilização mínima das seguintes técnicas: contato visual e auditivo, vestígios, armadilhas para pegadas e armadilhas fotográficas (câmeras *trap*), lista de espécies com nome científico e popular — que deverá ser baseada em dados primários (de campo), indicando a forma de registro, o habitat e o grau de sensibilidade a alterações antrópi-

cas, destacando as espécies endêmicas e as ameaçadas de extinção —, avaliação dos possíveis impactos causados pelos empreendimentos à fauna, apresentação de medidas mitigadoras, apresentação da curva de acumulação de espécies por grupo de vertebrados, ou outro dado estatístico de comprovação da eficácia do esforço amostral utilizado, e esforço amostral mínimo. Este deve atender aos seguintes critérios: para áreas de até 3 hectares, um censo de 35 horas distribuídas em pelo menos 5 dias de campo; para áreas de 3,01 a 10,00 hectares, um censo de 70 horas distribuídas em pelo menos 10 dias de campo; e, para áreas acima de 10,1 hectares, dois censos de 70 horas cada, distribuídos em pelo menos 10 dias de campo. Todos os censos devem ser realizados nos horários e épocas mais propícios à observação de cada grupo da fauna, considerando as estações seca e chuvosa. Com a aplicação dessa nova normativa, muitas deficiências apontadas neste trabalho poderão ser amenizadas pelos novos EIAs. Como a norma é relativamente recente, muitas discussões e sugestões devem ocorrer ainda, de modo a aperfeiçoá-la muito mais.

CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou as metodologias utilizadas nos levantamentos de fauna terrestre em EIAs de aterros sanitários, buscando verificar se os estudos atendem às normas determinadas pelos órgãos ambientais e detectar possíveis deficiências.

No geral, os EIAs apresentaram dados primários (trabalhos de campo), descrições das técnicas utilizadas em campo, lista de espécies com nomes científicos e populares, descrições do grau de sensibilidade das espécies (endemismo e ameaçadas de extinção) e impactos causados pelos empreendimentos à fauna.

Entretanto, verificaram-se muitas deficiências nos levantamentos, considerando-se os critérios de análise estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador. Quando comparados entre si, os estudos apresentaram inúmeras diferenças de critérios e, principalmente, falta de padronização das informações. As principais deficiências encontradas foram:

- falta de padronização em relação ao trabalho de campo, incluindo os seguintes itens: metodologia

de campo, período de observação, locais de amostragem e técnicas utilizadas;

- falta de padronização relacionada ao esforço amostral mínimo, incluindo os seguintes aspectos: número de campanhas, horas e dias e épocas/períodos das amostragens;
- falta do critério de sazonalidade, incluindo amostragens mínimas de dois períodos do ano: estações seca e chuvosa;
- falta de análise complexa dos processos e interações ecológicas nas áreas avaliadas;
- diagnóstico ambiental excessivamente baseado em dados secundários (levantamentos bibliográficos).

O apontamento de tais deficiências contribui para a análise da qualidade dos estudos faunísticos nos EIAs relacionados aos aterros sanitários. Essas lacunas poderão ser supridas com o aperfeiçoamento de normas e diretrizes sancionadas pelos órgãos ambientais.

Nesse contexto, uma nova diretriz regulamentadora para estudos de fauna nos EIAs, a DD nº 167/2015/C, foi implementada recentemente no estado de São Paulo. Com isso, alguns dos itens deficitários apontados neste trabalho poderão ser sanados.

Entretanto, a análise de processos e interações ecológicas certamente demanda aperfeiçoamento, já que nem mesmo a nova regulamentação trata adequadamente do assunto. Esse é, portanto, um item a ser explorado por normas futuras.

Os resultados deste trabalho podem servir de base para gestores públicos de órgãos ambientais melhora-

rem seus processos de tomada de decisão ante futuros estudos de fauna. A padronização de requisitos mínimos em relação aos censos de fauna é fundamental, pois os EIAs devem caracterizar adequadamente os potenciais impactos negativos à biodiversidade causados pelos empreendimentos.

Conclui-se que é necessário acompanhar o atendimento dos EIAs à nova norma regulamentadora e verificar a eficácia dessa diretriz no aprimoramento dos levantamentos de fauna, o que é de fundamental importância para a conservação das espécies e da biodiversidade como um todo.

REFERÊNCIAS

ALLEGRI, M. F. *Avifauna como possível indicador biológico dos estádios de regeneração da mata atlântica*. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ANDREAZZI, C. S.; PIRES, A. S.; FERNANDEZ, F. A. S. Mamíferos e palmeiras neotropicais: Interações em paisagens fragmentadas. *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 554-574, 2009.

ANJOS, L. Bird species sensitivity in a fragmented landscape of the Atlantic forest in southern Brazil. *Biotropica*, v. 38, p. 229-234, 2006.

ATTANASIO JUNIOR, M. R. *Direito Ambiental Interdisciplinar: para estudantes e profissionais das áreas de Ciência e Tecnologia*. Campinas: Millennium, 2015.

BECKER, P. H. Biomonitoring with birds. In: MARKERT, B. A.; BREURE, A. M.; ZECHMEISTER, H. G. (Eds.). *Bioindicators and biomonitors*. Oxford: Pergamon, 2003. v. 6. p. 677-736.

BLAUSTEIN, A. R. Chicken Little or Nero's fiddle? A perspective on declining amphibian populations. *Herpetologica*, v. 50, p. 85-97, 1994.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Caderno de Licenciamento Ambiental*. Brasília, 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. *Lista Nacional das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção*. Brasília Ministério do Meio Ambiente, 2014.

_____. Ministério Público Federal. *Deficiências em Estudos de Impacto Ambiental*. Brasília, 2004.

CAREY, C.; HEYER, W. R.; WILKINSON, J.; ALFORD, R. A.; ARNTZEN, J. W.; HALLIDAY, T.; HUNGERFORD, L.; LIPS, K. R.; MIDDLETON, E. M.; ORCHARD, S. A.; RAND, A. S. Amphibian declines and environmental change: use of remote-sensing data to identify environmental correlates. *Conservation Biology*, v. 15, p. 903-913, 2001.

CIOCHETI, G. *Uso de habitat e padrão de atividade de médios e grandes mamíferos e nicho trófico de lobo-guará (Chrysocyon brachyurus), onça-parda (Puma concolor) e jaguatirica (Leopardus pardalis) numa paisagem agroflorestal, no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Decisão de diretoria nº 153/2014/I, de 28 de maio de 2014*. Dispõe sobre os Procedimentos para o Licenciamento Ambiental com Avaliação de Impacto Ambiental no Âmbito da CETESB, e dá outras providências. São Paulo, 2014.

_____. *Decisão de diretoria nº 167/2015/C, de 13 de julho de 2015*. Estabelece “Procedimento para a Elaboração dos Laudos de Fauna Silvestre para Fins de Licenciamento Ambiental e/ou Autorização para Supressão de Vegetação Nativa”, e dá outras providências. São Paulo, 2015.

DUARTE, C. G.; DIBO, A. P. A.; SANCHEZ, L. E. O que diz a pesquisa acadêmica sobre Avaliação de Impacto e Licenciamento Ambiental no Brasil? *Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 245-278, 2017.

ESBERARD, C. E. L.; BERGALLO, H. G. Influência do esforço amostral na riqueza de espécies de morcegos no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 67-73, 2008.

FAIRWEATHER, P. G. Improving the use of science in environmental assessments. *Australian Zoologist*, Sidney, v. 29, p. 3-4, 1994.

FURNESS, R. W.; GREENWOOD, J. J. (Eds.). *Birds as monitors of environmental change*. Londres: Chapman & Hall, 1993. p. 102-120.

HADDAD, C. F. B. *Biodiversidade dos anfíbios no Estado de São Paulo*. São Paulo: Editora FAPESP, 1998. p. 15-26.

HADDAD, C. F. B.; HODL, W. New reproductive mode in anurans: bubble nest in *Chiasmocleis leucosticta* (Microhylidae). *Copeia*, n. 3, p. 585-588, 1997.

HERZOGH, S. K.; KESSLER, M.; CAHILL, T. M. Estimating species richness of tropical bird communities from rapid assessment data. *Auk*, Laurence, v. 119, p. 749-769, 2002.

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 13, p. 201-228, 1982.

JORDANO, P.; FORGET, J. E.; LAMBERT, K.; BOHNING-GAESE, A.; TRAVESET, E. S.; WRIGHT, J. Frugivores and seed dispersal: mechanisms and consequences for biodiversity of a key ecological interaction. *Biology Letters*, v. 7, n. 3, p. 321-323, 2011.

KUNIY, A. A. *Desajustes identificados em relatórios de estudos de impactos ambientais em empreendimentos hidrelétricos focando os grupos de aves e mamíferos silvestres*. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LACY, S. N., MEZA, F. J., MARQUET, P. A. Can environmental impact assessments alone conserve freshwater fish biota? Review of the Chilean experience. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 63, p. 87-94, 2017.

LOURES-RIBEIRO, A.; MANHÃES, M. A.; DIAS, M. M. Sensitivity of understorey bird species in two different successional stages of the lowland Atlantic Forest, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 3, p. 973-980, 2011.

MACKINNON, J. *Field Guide to the Birds of Java and Bali*. Indonésia: Gadjah Mada University Press, 1991.

MARGARIDO, T. C. C.; BRAGA, F. G. Mamíferos. In: MIKICH, S. B.; BERNILS, R. S. *Livro vermelho da fauna ameaçada no estado do Paraná*. Curitiba: IAP, 2004.

MARTINS, M. M.; NASCIMENTO, A. T. A.; NALI, C.; VELASTIN, G. O.; MANGINI, P. B.; VALLADARES-PADUA, C. B.; GALETTI JR., P. M. A test for sex biased dispersal in the black-faced lion tamarin (*Leontopithecus caissara*): inferences from microsatellite markers. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 50, n. 1, p. 14-20, 2015.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO OU ECONÔMICO – OECD. *Biodiversity Offsets: Effective Design and Implementation*. Paris: OECD Publishing, 2016.

- PINTO, A. P. R.; ALEXANDRINO, E. R. Análise crítica da Decisão de Diretoria da CETESB nº 167/2015/C para diagnóstico de mastofauna em estudos de impacto ambiental do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO, 3., Ribeirão Preto, 2016. *Anais...* 2016.
- PRADO, F. B.; VASCONCELOS, F. C. W.; CHIODI, C. K. Regime jurídico da Mata Atlântica e o risco à sobrevivência *in situ* de espécies ameaçadas. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, n. 2, p. 1-16, 2014.
- PRIMACK, R. B. *Biologia da conservação*. Londrina: Planta, 2001.
- REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, V. A.; LIMA, I. P. *Mamíferos do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2011.
- RYLANDS, A. B.; KIERULFF, M. C. M.; PINTO, S. Distribution and status of lion tamarins. In: KLEIMAN, D. G.; RYLANDS, A. B. (Eds.). *Lion Tamarins: Biology and Conservation*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press, 2002.
- SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- SANTOS, A. J. Estimativas de riqueza em espécies. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Eds.). *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*. Curitiba: Ed. da UFPR, 2003. p. 19-41.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. *Resolução nº 49, de 28 de maio de 2014*. Dispõe sobre os procedimentos para licenciamento ambiental com avaliação de impacto ambiental, no âmbito da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. São Paulo, 2014.
- SCHERER, M. Análise da qualidade técnica de estudos de impacto ambiental em ambientes de mata atlântica de Santa Catarina: abordagem faunística. Florianópolis, SC. *Biotemas*, n. 24, v. 4, p. 171-181, 2011.
- SILVEIRA, L. F.; BEISIEGEL, B. M.; CURCIO, F. F.; VALDUJO, P. H.; DIXO, M.; VERDADE, V. K.; MATTOX, G. M. T.; CUNNINGHAM, P. T. M. Para que servem os inventários de fauna? *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 173-207, 2010.
- SILVEIRA, R. L. *Avaliação dos métodos de levantamento do meio biológico terrestre em estudo de impacto ambiental para a construção de usinas hidrelétricas na região do cerrado*. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SUTHERLAND, W. J. *The conservation handbook: research, management and policy*. United Kingdom: Blackwell Science, 2004.
- THOMPSON, G. G. Terrestrial vertebrate fauna surveys for the preparation of environmental impact assessments; how can we do it better? A Western Australian example. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 27, p. 41-61, 2007.
- TRAJANO, E. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, 2010.
- TURNER, I. M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v. 33, n. 2, p. 200-209, 1996.
- VASCONCELOS, M. F. Uma opinião crítica sobre a qualidade e a utilidade dos trabalhos de consultoria ambiental sobre avifauna. *Atualidades Ornitológicas*, v. 131, p. 10-12, 2006.
- WEGNER, A.; MOORE, S. A.; BAILEY, J. Consideration of Biodiversity in environmental impact assessment in Western Australia: practitioner perceptions. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 25, p. 143-162, 2005.
- WUNDERLE JR., J. M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, v. 99, p. 223-235, 1997.

O PLANO DIRETOR INFLUENCIA NA PRODUÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS? UM ESTUDO DE CASO NA MICROBACIA DO PIRAJIBU-MIRIM, EM SOROCABA, SP

DOES THE MASTER PLAN INFLUENCE IN THE PRODUCTION OF ENVIRONMENTAL SERVICES? A STUDY CASE IN THE PIRAJIBU-MIRIM WATERSHED, SOROCABA, SP

Carina Júlia Pensa Corrêa

Doutoranda e mestra em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Sorocaba (SP), Brasil.

Kelly Cristina Tonello

Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Docente da UFSCar – Campus Sorocaba (SP), Brasil. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2.

Fernando Silveira Franco

Doutorado em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa. Docente da UFSCar – Campus Sorocaba (SP) e Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 2.

Marcelle Teodoro Lima

Doutoranda em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis e mestra em Sustentabilidade na Gestão Ambiental pela UFSCar – Sorocaba (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Kelly Cristina Tonello –
Universidade Federal de
São Carlos – Campus
Sorocaba – Rodovia João Leme
dos Santos, SP-264,
km 110 – Itinga – 18052-780 –
Sorocaba (SP), Brasil –
E-mail: kellytonello@yahoo.com

Recebido: 14/04/2017

Aceito: 05/07/2017

RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar os impactos do plano diretor de um município sob a perspectiva de produção e conservação de serviços ambientais. Localizada em Sorocaba (SP), a microbacia do Pirajibu-Mirim foi delimitada como área de estudo, e mapas de zoneamento, uso do solo, modelo digital de elevação e declividade foram elaborados. Com a análise dos dados, observa-se que a zona rural (ZR) e a zona de conservação ambiental (ZCA) sofreram reduções, assim como o tamanho mínimo estipulado para lotes em zonas de chácaras urbanas (ZCH). Embora atividades agrícolas sejam escassas no município, essas zonas são imprescindíveis para o aumento da permeabilidade do solo nas cidades e, quando manejadas corretamente, contribuem para a recarga dos lençóis freáticos. Além disso, grande parte da microbacia é ocupada por áreas degradadas e ociosas. Diante desse contexto, são sugeridas alternativas em curto e médio prazo para a melhoria da permeabilidade do solo em uma microbacia produtora de água.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; zoneamento; uso do solo; gestão de recursos naturais.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the impacts of a master plan for production and conservation of environmental services. The Pirajibu-Mirim watershed, in Sorocaba (SP), was delimited as a study area, and zoning, land use, digital elevation model and slope maps were elaborated in its perimeter. With data analysis, it can be observed that the rural area and the environmental conservation zone have been reduced, such as the minimum size stipulated for lots in urban areas. Although agricultural activities are practically non-existent in the municipality, these zones are essential to increase the permeability of soil in the cities, and contribute to the recharge of groundwater. In addition, much of the watershed is occupied by degraded and idle areas. In this context, short and medium term alternatives are suggested to improve soil permeability in a water producing watershed.

Keywords: watershed; zoning; land use; natural resources management.

INTRODUÇÃO

O meio urbano enfrenta dificuldades para aliar o seu desenvolvimento socioeconômico com a manutenção de serviços ambientais imprescindíveis para a população. A impermeabilização do solo, a canalização de córregos, a poluição de recursos hídricos e a supressão de vegetação são consequências quase inevitáveis do crescimento populacional em grandes centros. Esses conflitos merecem ainda mais atenção quando presentes em regiões estratégicas para a conservação de recursos naturais, como bacias hidrográficas responsáveis pelo abastecimento de água.

A bacia hidrográfica pode ser definida como a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático (CALIJURI & BUBEL, 2006). Essa unidade geomorfológica pode ser um objeto preciso para fins de pesquisa, planejamento e gestão, frente aos aspectos geomorfológicos que propiciam um recorte geográfico exato. Para uma análise em menor escala, a divisão em microbacias pode ser aplicada. Existem diferentes conceitos utilizados para delimitar uma microbacia, que podem envolver a extensão territorial, a hidrologia e o ordenamento dos corpos d'água.

Faustino (1996) considera que a microbacia possui área de drenagem inferior a 100 km². Baseando-se nos conceitos de Horton (1945) e Strahler (1964), a ordem dos corpos d'água é utilizada para a classificação das microbacias. Visto que o sistema de drenagem é constituído pelo curso d'água principal e seus tributários ou afluentes, cursos d'água sem tributários são considerados de primeira ordem. Cursos d'água denominados de segunda ordem são aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independentemente do número de tributários. Cursos d'água de terceira ordem são aqueles que recebem dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo receber também tributários de primeira ordem. Assim, as bacias que possuem rios até a quarta ordem podem ser classificadas como microbacias.

O estudo da microbacia hidrográfica proporciona a vantagem do gerenciamento simultâneo e interdependente dos aspectos sociais, ambientais e econômicos, possibilitando a execução de planejamento e administração integrada dos recursos naturais, além de permitir condições geográficas e sociais positivas à comunidade local (PEDROSA et al., 2011). Além disso,

a relação entre os fatores bióticos e abióticos pode ser observada com maior intensidade, e perturbações ecológicas podem afetar diretamente na dinâmica de seu funcionamento (MOSCA, 2003).

Na prática, conciliar o uso do solo nos municípios majoritariamente urbanos com a gestão sustentável de bacias hidrográficas pode ser um desafio. Alguns instrumentos legais foram desenvolvidos no Brasil com diretrizes gerais para política urbana e para garantir à população a gestão democrática do meio urbano. A Lei Federal nº 10.257/01, que institui o Estatuto da Cidade, foi uma regulamentação do artigo 182 da Constituição Federal de 1988. Esse artigo trata especificamente da política urbana, que “tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (BRASIL, 1988).

Sua instituição, na teoria, pode ser um avanço nos aspectos fundiários urbanos, com o estabelecimento de instrumentos como: Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) progressivo para áreas ociosas; parcelamento, edificação ou utilização compulsórios; desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública e regularização de loteamentos antes tidos como ilegais (SILVA, 2001). Do ponto de vista do planejamento territorial municipal, foi instituída a obrigatoriedade de um plano diretor para municípios com população a partir de 20.000 habitantes, integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas, áreas de especial interesse turístico e inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto de âmbito regional ou nacional (BRASIL, 2001).

Considerando os municípios brasileiros com população maior de 20.000 habitantes, aproximadamente 90% possuem plano diretor. Em municípios menores, onde a instituição do plano é facultativa, a adesão é de 20% (THERY & THERY, 2014). Quando contabilizados apenas os municípios com mais de 100.000 habitantes, a taxa sobe para 99% (BRASIL, 2015). A aplicação dos instrumentos previstos no plano, entretanto, exige regulamentação específica, como o Decreto Estadual nº 56.589/15, que instituiu, no município de São Paulo, o IPTU progressivo no tempo (SÃO PAULO, 2015). Alguns desses instrumentos ainda enfrentam grande

resistência para serem praticados nos municípios, em especial o IPTU progressivo (TONELLA, 2013).

Um levantamento realizado pelo Ministério da Justiça concluiu que, até 2015, em apenas 32% dos municípios havia lei específica para aplicação do Parcelamento, Edificação ou Utilização Compulsórios (PEUC) (BRASIL, 2015). Esse instrumento permite à administração pública municipal reivindicar que o proprietário de imóvel urbano edifique em sua área não edificada ou subutilizada ou dê um uso caso o imóvel esteja vazio.

O plano diretor de uma cidade, de acordo com Rolnik e Pinheiro (2004), deve estabelecer como a propriedade cumprirá sua função social, de forma a garantir o acesso à terra urbanizada e regularizada e reconhecer a todos os cidadãos o direito à moradia e aos serviços urbanos. Dessa forma, os municípios são divididos em diversas zonas de uso, para ordenação de parcelamento, uso e ocupação do solo.

O uso e a ocupação do solo influenciam direta ou indiretamente na provisão de serviços ambientais ou ecossistêmicos (DELGADO & MARÍN, 2016; SIRAKAYA *et al.*, 2017). Esses serviços sustentam a população humana e consistem em: serviços de provisão (como obtenção de alimentos, água e fibras); serviços de regulação (regulação climática, controle de doenças e purificação da água); serviços culturais (educação ambiental, ecoturismo e herança cultural) e serviços de suporte (manutenção do solo, ciclagem de nutrientes e produção primária) (NAHLIK *et al.*, 2012; BROWN, 2013; WUNDER, 2015; ROSA *et al.*, 2016).

Um exemplo de serviço ecossistêmico de regulação de extrema importância para as comunidades humanas nas bacias hidrográficas é o de regulação hídrica, especialmente a disponibilidade e qualidade de água para abastecimento público (JUJNOVSKY *et al.*, 2017; CHAIKAEWA *et al.*, 2017). Um ecossistema equilibrado inclui a manutenção da qualidade da água superficial, com diminuição da erosão, redução dos sedimentos em corpos d'água e filtragem de poluentes (SALEMI *et al.*, 2012). As formações florestais são especialmente importantes para a provisão desses serviços, cuja ausência pode afetar diretamente o bem-estar humano, desencadeando insegurança alimentar e restrição do acesso à água potável (TENGBERG *et al.*, 2012).

Embora a importância da produção e conservação desses serviços nas cidades seja reconhecida atualmente (CALDERON-CONTRERAS & QUIROZ-ROSAS, 2017; CHEN *et al.*, 2017), existem casos em que ela pode ser negligenciada na formulação de políticas urbanas. Assim, o presente estudo objetivou avaliar os impactos de um plano diretor na produção de serviços ambientais. O estudo de caso foi realizado no município de Sorocaba (SP), onde a reformulação do plano, em 2014, levantou diversos debates e enfrentou grande resistência. A microbacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim foi adotada para análise mais detalhada, e em seu perímetro foram obtidos o zoneamento do município instituído pelo plano diretor, o uso e a ocupação do solo, os dados de declividade e o modelo digital de elevação do terreno.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Sorocaba localiza-se no sudeste do estado de São Paulo, a 92 km da capital, na chamada borda de depressão periférica paulista (IGC, 2014). Apresenta área de 449 km², com população de 608.692 habitantes, 99% dela residente na zona urbana (IBGE, 2015). A vegetação é caracterizada por uma área de ecótono entre Mata Atlântica e cerrado, com a presença das fitofisionomias: floresta estacional semidecidual, floresta ombrófila densa, cerrado, campos cerrados e matas de várzea (BRASIL, 2011). Entretanto, de acordo com Smith *et al.* (2014), atualmente apenas 4,46% da área do município é cober-

ta por fragmentos florestais em estágios médios ou avançados de regeneração.

Sorocaba é integrante da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do rio Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10). O rio Sorocaba, corpo d'água que atravessa e dá nome à cidade, é o principal afluente da margem esquerda do rio Tietê (IGC, 2014). Para uma análise em menor escala, a microbacia do Pirajibu-Mirim foi escolhida pela importância de seus recursos hídricos e seu potencial para conexão de fragmentos florestais (Figura 1). O rio Pirajibu-Mirim colabora com 10% do abastecimento de água para a população, por meio da represa do Pirajibu.

Elaboração de mapas e análise dos dados

O zoneamento proposto pelo plano diretor de 2014 foi discutido e comparado à versão anterior, de 2004. Posteriormente, esse zoneamento foi delimitado à microbacia do Pirajibu-Mirim, e as proporções da Zona de Conservação Ambiental (ZCA), Zona de Chácaras Urbanas (ZCH), Zona Industrial 1 (ZI1), Zona Industrial 2 (ZI2), Zona Rural (ZR), Zona Residencial 1 (ZR1), Zona Residencial 2 (ZR2) e Zona Residencial 3 (ZR3) foram calculadas em seu limite. O mapa de zoneamento, assim como os outros mapas presentes no trabalho, foi elaborado com o auxílio do programa Quantum GIS 1.6, *software* livre de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e possui projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23S.

Para a construção do mapa de uso e ocupação do solo na microbacia estudada foram utilizadas imagens do

satélite Rapideye (2014), fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), e imagens de satélite do programa *Google Earth*, para adequações temporais. Além disso, a microbacia foi percorrida entre os meses de maio e agosto de 2015 para confirmação dos dados encontrados no mapa. A delimitação das categorias Agricultura, Florestas Plantadas, Fragmentos Florestais, Instalações Urbanas, Lagoas e Solo Descoberto foi feita por meio da digitalização em tela, e as áreas relativas de cada categoria foram calculadas e discutidas. Os dados de declividade e de altitude também foram obtidos com o auxílio de mapas, e o resultado foi comparado às declividades e altitudes mínimas determinadas pelo Código Florestal Brasileiro como Áreas de Preservação Permanente (APPs) (BRASIL, 2012).

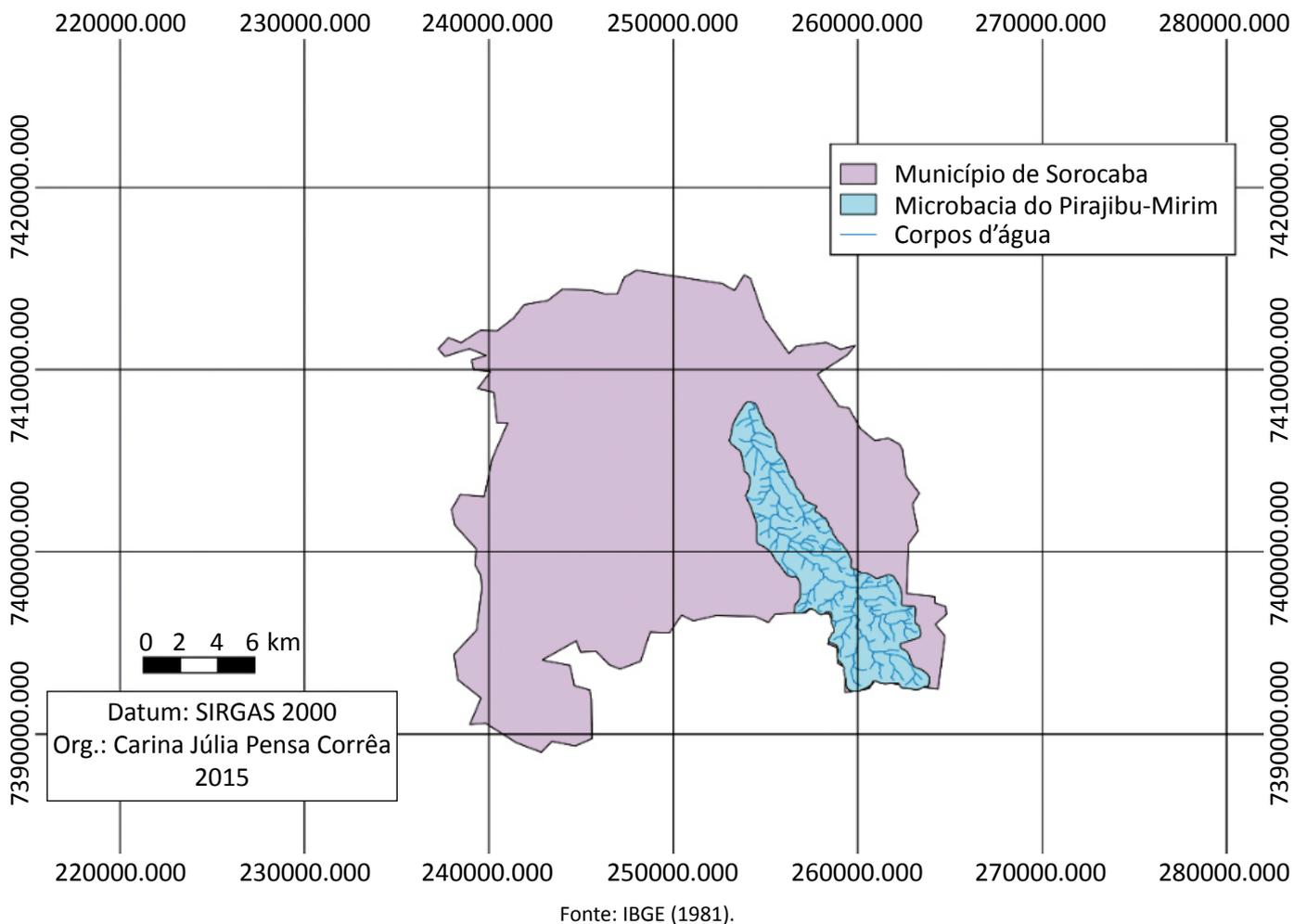


Figura 1 – Limite do município de Sorocaba (SP) com a localização da microbacia do Pirajibu-Mirim e seus corpos d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plano diretor em Sorocaba

O município de Sorocaba instituiu o seu primeiro plano diretor em 1966, o qual passou por diversas reformulações até chegar à versão atual. A Lei Municipal nº 7.122 foi decretada e promulgada em 2004, instituindo 13 zonas de uso, divididas em área urbana, área de expansão urbana e área rural. O zoneamento proposto expandiu a zona urbana e permitiu novos parcelamentos de terra na ZR, mesmo não havendo essa necessidade. Já naquela época havia grande número de terrenos não utilizados ou mal aproveitados na zona urbana da cidade, servindo apenas para especulação imobiliária (SOROCABA, 2004; CYMBALISTA & SANTORO, 2009).

Em 2014, a mais recente reformulação do plano foi iniciada (Projeto de Lei nº 178), e o plano diretor (Lei nº 11.022/14) foi aprovado com menos de um ano de tramitação. No entanto, algumas mudanças foram amplamente questionadas, como a redução da ZR e da ZCA, além da diminuição da área mínima dos lotes classificados no zoneamento como ZR2 e ZR3. Dessa forma, cinco meses após a aprovação da lei, um inquérito foi encaminhado à Procuradoria-Geral de Justiça para a abertura de ação por inconstitucionalidade, em que o promotor expõe a inclusão de emendas ao projeto original que não foram objeto de debate popular e impactos ambientais que podem decorrer do novo zoneamento.

As emendas contestadas foram as seguintes: nºs 02, 24, 28, 29, 32, 33, 34, 49, 60, 68, 128, 171, 173, 174, 178, 204, 206, 216 e 220, além de alterações no Mapa de Zoneamento Municipal 02 (MP2). No conteúdo do inquérito, são destacados o abuso do poder de emendar, a ausência de planejamento técnico na produção da lei de ordenamento do uso e ocupação do solo e a violação ao princípio da impessoalidade, visto que alguns proprietários foram beneficiados em detrimento do interesse público, sem justificativa razoável. A ação direta por inconstitucionalidade foi considerada procedente pelo desembargador responsável, mas os réus — presidente da Câmara Municipal e prefeito de Sorocaba — ainda buscam recursos (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015).

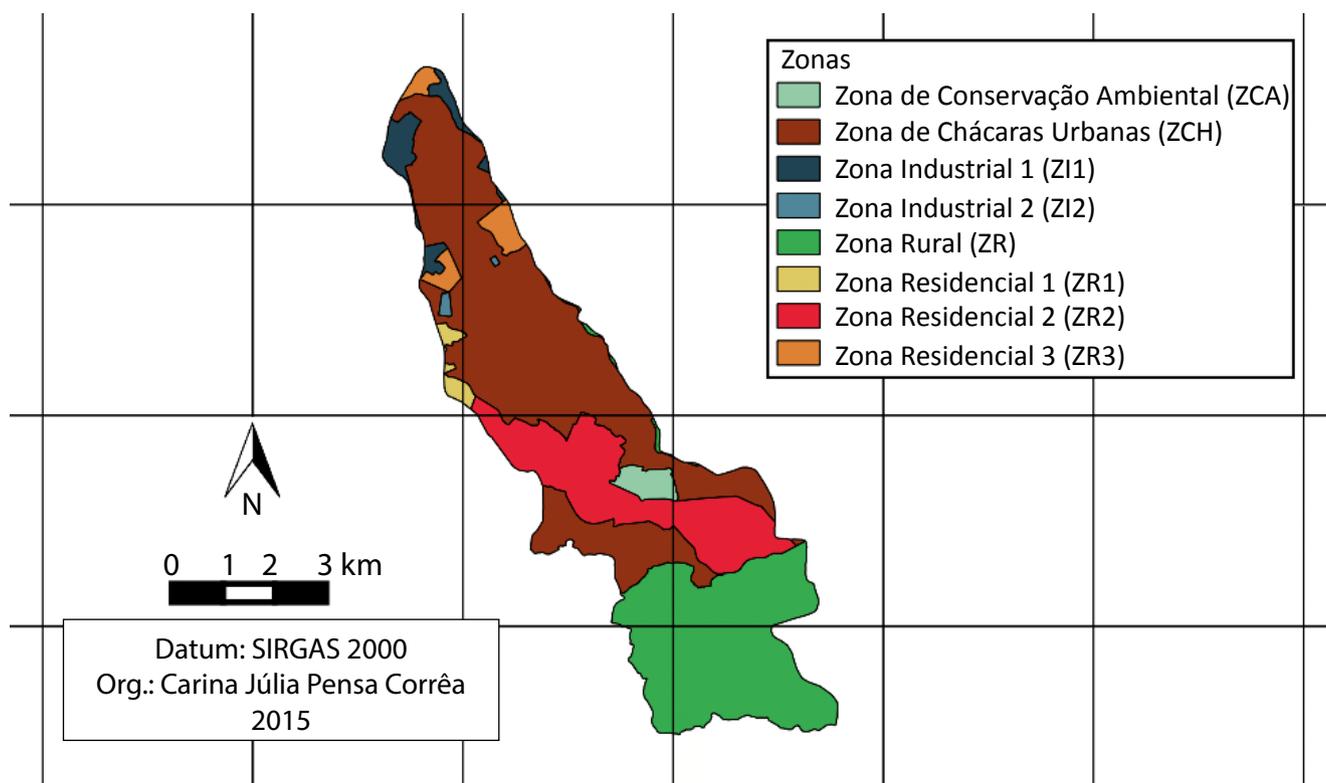
Pizella (2015, p. 644) destaca que o zoneamento municipal, quando realizado de forma participativa, “possibilita que atores sociais preocupados com a questão socioambiental interfiram em seu processo de elaboração, de modo a impedir que interesses puramente econômicos prevaleçam”. Assim, os impactos ambientais decorrentes da expansão urbana, como a impermeabilização do solo e a redução de áreas verdes, podem não ter sido esclarecidos para a população. Alguns questionamentos que envolvem a constitucionalidade do processo giram em torno das audiências públicas, que devem ser convocadas de acordo com o Conselho das Cidades.

A participação popular, embora ainda não esteja presente na maioria dos processos de tomada de decisão no Brasil, é assegurada pela legislação. A Resolução Federal nº 25/2005 institui a ampla comunicação pública, em linguagem acessível, por meios de comunicação social de massa disponíveis. A população deve ter ciência do cronograma e dos locais das reuniões, da apresentação dos estudos e das propostas sobre o plano diretor com antecedência de, no mínimo, 15 dias. Por fim, o poder público deve garantir a diversidade da realização dos debates por segmentos sociais, temas e divisões territoriais, como, por exemplo, bairros e distritos, alternando os locais de discussão (BRASIL, 2005). Em Sorocaba, as audiências ocorreram somente na Câmara dos Vereadores e no Paço. Camargo e Moraes (2015) apresentam estudo de um plano diretor que foi discutido de forma participativa, em Joinville (SC), mostrando a possibilidade de a população não apenas legalizar, mas também legitimar o processo.

No novo zoneamento instituído, a ZR diminuiu ainda mais do que na versão de 2004, passando de 80,2 para 65,0 km², uma redução de 19%. A ZCA da cidade sofreu ainda mais impactos com o novo plano, passando de 20,9 para 11,6 km², uma redução de 45%. Essas mudanças, que resultaram no aumento de 26% da zona urbana, têm como justificativa o aumento da população no município (SOROCABA, 2014). Para análise específica do zoneamento proposto pelo plano diretor de 2014 na área de estudo, as novas zonas foram delimitadas dentro da microbacia do Pirajibu-Mirim (Figura 2, Tabela 1).

A divisão das zonas considerou os usos permitidos e os parâmetros urbanísticos estabelecidos no Plano de Zoneamento dos Municípios. A ZCA é destinada à manutenção da permeabilidade do solo, com cobertura vegetal e

baixos índices de ocupação. A ZCH possui parcelamento do solo restrito, tanto no tamanho do terreno quanto na intensidade e extensão da ocupação, e é predominante na microbacia (46,1% do território). A ocupação de imó-



Fonte: IBGE (1981); Sorocaba (2014).

Figura 2 – Zoneamento de acordo com o plano diretor de Sorocaba.

Tabela 1 – Áreas relativas das zonas inseridas na microbacia do Pirajibu-Mirim.

Zona	Área relativa (%)
Zona de Conservação Ambiental (ZCA)	1,6
Zona de Chácaras Urbanas (ZCH)	46,1
Zona Industrial 1 (ZI1)	3,0
Zona Industrial 2 (ZI2)	0,3
Zona Rural (ZR)	28,2
Zona Residencial 1 (ZR1)	1,1
Zona Residencial 2 (ZR2)	16,8
Zona Residencial 3 (ZR3)	2,8
Total	100,0

veis na ZCH deve garantir a permeabilidade do solo e a destinação de áreas para proteção de vegetação, embora esses índices não sejam estipulados pela lei.

O artigo 125 do plano diretor traz as dimensões mínimas para lotes resultantes de parcelamento do solo nas zonas urbanas. A ZCH manteve seu tamanho mínimo original, de 1.000 m². No entanto, foi acrescentada ao novo plano a permissão para novos parcelamentos do solo com lotes de 600m² de área territorial, desde que o empreendimento tenha sistema individual para tratamento de esgoto. Esses novos parcelamentos podem resultar na diminuição das áreas com permeabilidade, prejudicando a infiltração de água no solo na microbacia.

A ZI1 é composta por áreas de atividades industriais já consolidadas e em expansão. Já a ZI2 é constituída por regiões com ocupação industrial histórica e uso misto com áreas de urbanização. As zonas residenciais também são divididas em 1, 2 e 3. Na ZR1, as áreas são predominantemente residenciais, com baixa densidade de ocupação e percentuais de edificações limitados. A ZR2 apresenta bairros já consolidados, com média densidade de ocupação, enquanto a ZR3 destina-se à expansão da urbanização, com alta densidade de ocupação (SOROCABA, 2014).

A ZR é destinada a atividades econômicas não urbanas, com imóveis e parcelamentos do solo voltados a atividades rurais. Essa área ocupa 28,2% da microbacia e corresponde à região em que estão localizadas as nascentes do rio Pirajibu-Mirim, sendo de extrema importância para a conservação dos recursos hídricos. De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba (SEMA), essa área pode pertencer a apenas um proprietário, uma grande empresa da região. Vale destacar que a região

Uso e ocupação do solo

Um mapa de uso do solo auxilia na compreensão da paisagem local e dos impactos ambientais decorrentes dessa ocupação. Com a análise do uso do solo e das características físicas da região, observam-se três panoramas: o real, que indica como está a ocupação, atualmente, na microbacia; o ideal, que seria aplicado se o planejamento urbano levasse em consideração todos os aspectos ambientais do local, a fim de conservar os serviços ambientais aliados ao bem-estar da população; e o estipulado pelo plano diretor, que pode estar distante do real e do ideal.

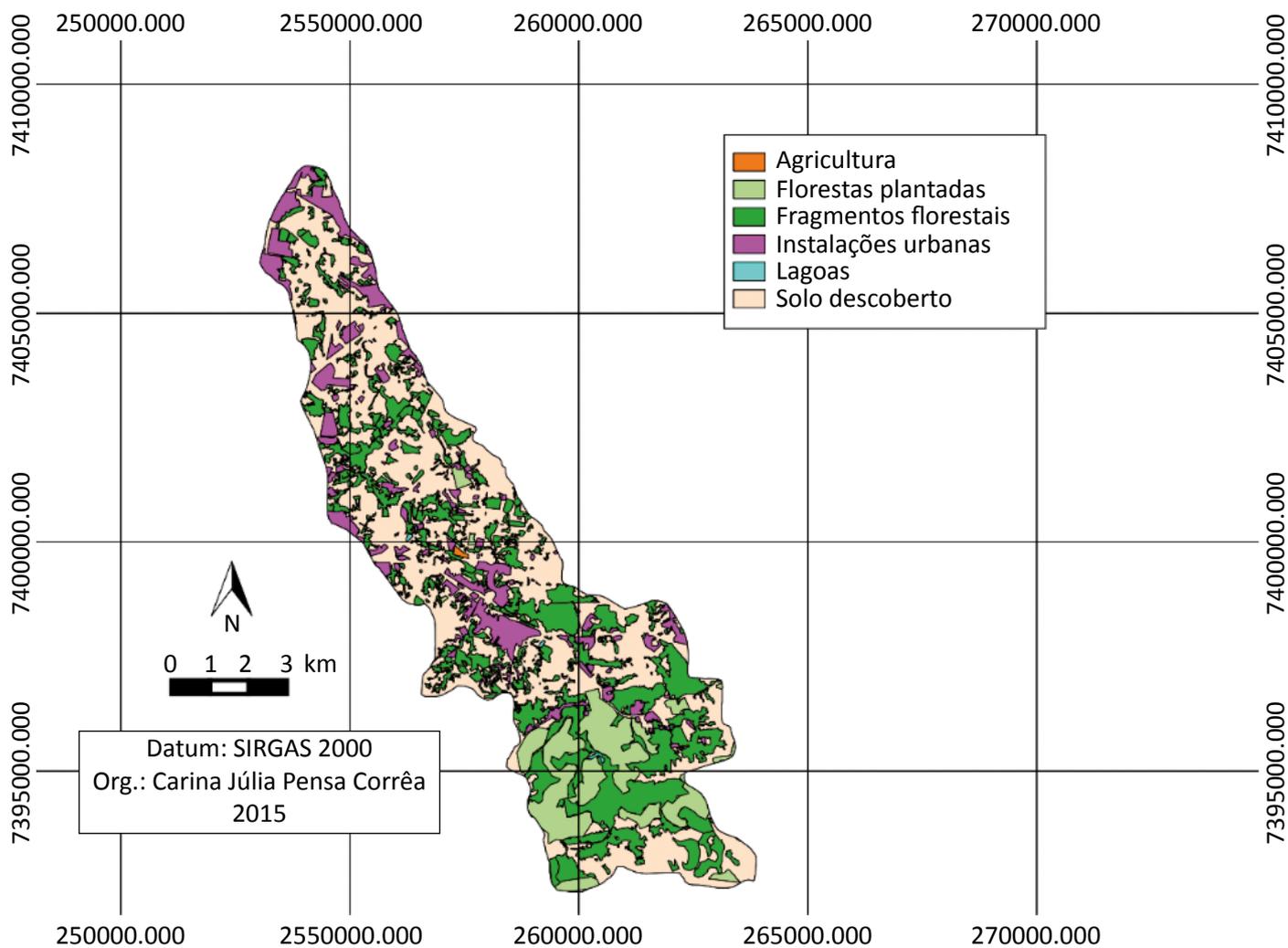
da microbacia apresenta maior parcela de ZR do que o resto do município. Se considerado todo o território de Sorocaba, a zona rural abrange apenas 14%.

O estabelecimento preciso dos limites de todas as propriedades, no entanto, não foi possível. Até o presente momento, o arquivo contendo os lotes mapeados pela prefeitura mostra lacunas, ou seja, há propriedades que ainda não foram digitalizadas. A ZR deveria ter todos os seus lotes mapeados até 5 de maio de 2016. Esse seria o prazo máximo para o estabelecimento do Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro público eletrônico, de âmbito nacional, instituído pelo Código Florestal com o objetivo de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais (BRASIL, 2012). O prazo inicial era de um ano após o estabelecimento do sistema, que foi realizado em 2014. Ele foi prorrogado por um ano, e já existem projetos de lei que defendem seu adiamento por mais três anos. Observa-se que há regiões na ZCH que também não possuem seus lotes delimitados, dificultando, assim, o controle do tamanho dos parcelamentos estipulados pelo plano diretor.

Vale destacar que há, no plano, uma divisão do município em escala maior do que a zona, denominada macrozona: Macrozona com Grandes Restrições à Ocupação (MGRO), Macrozona com Restrições Moderadas à Ocupação (MMRO), Macrozona com Pequenas Restrições à Ocupação (MPRO) e Macrozona de Conservação Ambiental (MCA). A MCA engloba áreas de várzeas do rio Pirajibu-Mirim, e em seu perímetro são permitidos apenas usos que garantam a manutenção da permeabilidade do solo e da cobertura vegetal, como parques urbanos (SOROCABA, 2014).

No caso estudado, foram encontrados fragmentos de vegetação nativa que representam 32,16% do total da área da microbacia (Figura 3, Tabela 2). A maior parte desses fragmentos está concentrada na porção sul, na área pertencente à Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), do grupo Votorantim. Observa-se, também, que é nessa área que se concentram plantações de florestas com espécies exóticas, atividade econômica que pode ter contribuído para a conservação da mata.

Seu modelo de plantio assemelha-se ao das plantações em mosaico, em que há espécies nativas intercaladas



Fonte: IBGE (1981); Rapideye (2014).

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo na microbacia do Pirajibu-Mirim.

Tabela 2 – Áreas relativas das categorias de uso do solo na microbacia do Pirajibu-Mirim.

Categoria	Área relativa (%)
Agricultura	0,07
Florestas Plantadas	10,57
Fragmentos Florestais	32,11
Instalações Urbanas	25,00
Lagoas	0,09
Solo Descoberto	32,16
Total	100,00

com exóticas. Dessa forma, algumas características ambientais positivas podem ser alcançadas, como a estabilização do uso da água na região. As florestas plantadas também podem trazer benefícios encontrados em florestas nativas, como o controle da erosão e o aporte de carbono (FERRAZ *et al.*, 2013; MUNHOZ *et al.*, 2012).

Áreas com plantio de espécies agrícolas herbáceas são praticamente inexistentes na região, mesmo na parcela correspondente à ZR. Nesse aspecto, a microbacia segue a tendência do município de Sorocaba, onde a agricultura tem pouca participação na economia. Mesmo diante desse contexto, foi instituída, na microbacia, a Lei Municipal nº 162/2011 para incentivar a política pública de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA).

Os programas de PSA, adotados em diversos países do mundo, remuneram provedores de serviços ambientais por meio de fundos construídos a partir da lógica do usuário/poluidor-pagador (GUEDES & SEEHUSEN, 2011; ESCOBAR *et al.*, 2013; EZZINE-DE-BLAS *et al.*, 2016; GRIMA *et al.*, 2016). Esses provedores são, em grande parte, agricultores familiares ou comunidades tradicionais que residem nas zonas rurais e podem, por meio do manejo sustentável de sua propriedade, fornecer serviços ecossistêmicos à comunidade (FIGUEIREDO *et al.*, 2013).

Os programas de PSA podem representar uma importante ferramenta para a conservação de nascentes e matas ripárias em regiões prioritárias. Destaca-se que, além de instrumento econômico para a conservação do meio ambiente, o PSA deve resultar em benefícios sociais para as comunidades rurais envolvidas. Um caminho para o alcance desses objetivos seriam as parcerias institucionais entre agentes governamentais, não governamentais e privados (ROSA *et al.*, 2014; CHIODI & MARQUES, 2015). No entanto, de acordo com Corrêa *et al.* (2016), um projeto dessa natureza encontraria dificuldade para ser implementado na região estudada, justamente pela ausência de agricultores e áreas aptas a receber os benefícios.

Com a ausência de agricultura, 32,10% das áreas estão degradadas — áreas de mineração desativadas, pastos abandonados, terrenos sem edificação ou uso alternativo do solo — ou com o solo descoberto. Nos trabalhos de campo realizados, observou-se que muitas áreas de

solo descoberto possuem as mesmas características: são áreas cercadas, comumente chamadas de “terrenos baldios”, que claramente não apresentam manejo do solo e não possuem construções e instalações urbanas. Além de não contribuírem sob a perspectiva socioeconômica, esses terrenos pouco colaboram para a produção de serviços ambientais.

De acordo com a Lei Municipal nº 10.497/2013, os proprietários de terrenos não edificadas, subutilizados ou não utilizados estão sujeitos a aumento progressivo de IPTU (SOROCABA, 2013a). Tal lei baseia-se na Emenda Constitucional 29/2000, que traz a progressividade do imposto de acordo com o valor do imóvel e seu uso e localização. A lei de IPTU progressivo no tempo de Sorocaba incide apenas na ZC, na ZR1, na ZR2 e na ZR3. Embora seja um instrumento para combater a especulação imobiliária e atribuir uso social e econômico às propriedades, o IPTU progressivo abrange apenas 20,7% da microbacia.

A inclusão de ZCH em uma política fiscal é de extrema importância, tanto pela sua representatividade na microbacia quanto pela quantidade de áreas ociosas na região. Além da possibilidade de aumento do IPTU para proprietários de solo desocupado, existe o caminho oposto: a redução de IPTU para imóveis que mantêm áreas de preservação adequadas e utilizam seu terreno em benefício da sociedade e do equilíbrio ambiental. Todavia, nenhuma dessas medidas foi adotada pelo plano diretor.

Uma possibilidade é o estímulo fiscal na instituição de hortas urbanas. Alguns municípios já utilizam esse instrumento, por meio do qual populações de baixa renda podem cultivar e implantar agroflorestas em terrenos particulares em troca de redução no IPTU. Essa política trata das questões sociais e ambientais almeçadas pelos programas de PSA, e pode ser adequada de acordo com o plano diretor e o uso do solo no município de Sorocaba.

Além da produção de alimentos, as hortas urbanas podem ser responsáveis pela provisão de diversos serviços ecossistêmicos nas cidades, como o armazenamento de carbono no solo, a diminuição da temperatura local, o aumento da biodiversidade, a redução de gases de efeito estufa e a mitigação de inundações por meio da interceptação e infiltração de águas pluviais (CAMERON *et al.*, 2012; MIDDLE *et al.*, 2014; PULIGHE *et al.*,

2016). Visto que as inundações são constantes e acometem diversas regiões da microbacia, outras infraestruturas verdes, como jardins de chuva e *bioswales* (elementos da paisagem projetados para concentrar ou remover o limo e a poluição da água de escoamento superficial), são alternativas para aumentar a infiltração de água nas cidades, diminuir o *runoff* das chuvas e, assim, atenuar os alagamentos nos meios urbanos (HERZOG, 2013; KATSIFARAKIS *et al.*, 2015; ZIMMERMANN *et al.*, 2016; CALDERÓN-CONTRERAS & QUIROZ-ROSAS, 2017).

Características do relevo

A análise do relevo de uma microbacia pode auxiliar na caracterização dos tipos de paisagem ali presentes, nos quais ocorrem diferentes processos físicos. O relevo pode determinar fenômenos como o escoamento superficial e a taxa de infiltração de água no solo, influenciando, assim, diretamente nos fatores hidrológicos de uma região (ABRAHÃO & MELLO, 1988). O Código Florestal Brasileiro considera a influência da altitude e da declividade na proteção do solo e no escoamento da água. Portanto, também são APPs encostas com declividade maior que 45°, topos de morros, montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25° e áreas em altitude superior a 1.800 m (BRASIL, 2012).

O mapa com o modelo digital de elevação mostra as variações de altitude na extensão da microbacia. A amplitude altimétrica representa a diferença entre a foz e a maior altitude situada em determinado ponto da bacia. Dessa forma, indica o desnível médio da bacia hidrográfica (SCHUMM, 1956). A altitude média encontrada foi de 679,73 m. O valor médio da altitude influencia no recebimento de radiação solar. Grandes altitudes implicam em menor recebimento dessa energia, atuando nas variações de temperatura e em fenômenos hidrológicos como a precipitação no local (CASTRO & LOPES, 2001).

Esse recebimento de energia também pode variar ao longo da bacia, alterando, assim, sua temperatura e precipitação. A altitude na região está entre 560 e 1.020 m, e sua amplitude altimétrica é de 460 m. Os pontos com maiores altitudes se concentram na porção sul da bacia, na área de nascentes do Pirajibu-Mirim, e seguem decrescendo até os pontos de menor altitude, próximo à foz. A região também concentra a porção de ZR da

Outra questão a ser discutida é a implantação de infraestrutura necessária para a expansão de bairros residenciais. Em uma das maiores áreas de instalações urbanas, correspondente a um distrito de Sorocaba que está dentro da ZR2, o esgoto ainda era lançado sem tratamento prévio no rio Pirajibu-Mirim. Assim, mesmo em uma ocupação que está de acordo com o seu zoneamento, a falta ou a morosidade das obras de saneamento básico têm impacto direto no rio utilizado para o abastecimento de água, ou seja, na produção de serviços ambientais.

microbacia, o que é um aspecto positivo para a conservação dos serviços ambientais ali gerados.

O artigo 4º do Código Florestal considera como APPs regiões com altitude superior a 1.800 m. No entanto, como a altitude máxima encontrada na microbacia foi 1.020 m, não há no local APPs dessa categoria. Para a adequação e o planejamento ambientais na região, o conhecimento da declividade na microbacia também se faz necessário. Relevos com declividade acentuada, ausência de vegetação, grande intensidade de chuva e características do solo que não favorecem a infiltração de água são propícios ao aumento da velocidade do escoamento superficial (TONELLO *et al.*, 2006). Dessa forma, podem ocorrer maiores taxas de enchente e deslizamento de terra, resultando em degradação ambiental e, muitas vezes, transtorno às populações.

Os dados obtidos por meio do mapa de declividade mostram que as regiões de declividade mínima e máxima correspondem, respectivamente, a 0,002 e 78,290% da microbacia. A média de declividade é de 14,350%, o que indica sua tendência ondulada. As regiões com maiores declividades, apresentando terrenos fortemente montanhosos, concentram-se ao sul da microbacia, coincidindo com as maiores áreas de fragmentos florestais nativos e plantações florestais. No entanto, considerando que o Código Florestal caracteriza as APPs como “encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive”, também não há na microbacia APPs de declividade.

A região com maiores declividades corresponde à ZR da microbacia. A ZCA apresenta, em grande parte de sua extensão, relevo montanhoso, o que é positivo

para a conservação do solo. Entretanto, essa zona corresponde a apenas 1,64% da área da microbacia. Outras regiões necessitam de proteção para evitar deslizamentos de terra e assoreamentos dos corpos d'água.

Outros locais que possuem relevo considerado montanhoso inserem-se nas ZCHs e nas zonas residenciais. O relevo montanhoso é bastante suscetível à erosão, fenômeno que costuma ser atenuado pela cobertura vegetal (PINHEIRO *et al.*, 2011). Quando apresenta instalações urbanas, o solo nesses locais deve receber maior atenção para evitar desastres ambientais e problemas sociais.

A cobertura inadequada do solo pode acarretar impactos socioeconômicos a todo o município. Em fevereiro

de 2017, deslizamentos de terra próximo à microbacia do Pirajibu-Mirim causaram o rompimento de uma importante adutora de abastecimento, deixando grande parte de Sorocaba sem água. Obras de emergência tiveram que ser realizadas na microbacia para prevenir novos deslizamentos, pois quatro adutoras estão localizadas na região.

Além da recuperação das APPs que é necessária para a adequação ambiental, outras áreas devem ser preservadas, como as zonas de recarga. Essas áreas possuem solo permeável e profundo, localizando-se, geralmente, em regiões de alta altitude como topos de morros. Por suas características, tais regiões poderiam ser consideradas ZCAs.

CONCLUSÕES

A microbacia do Pirajibu-Mirim é estratégica para a conservação de serviços ambientais em Sorocaba (SP). Além de ser uma bacia produtora de água, responsável por parte do abastecimento do município, ela mantém remanescentes de floresta nativa na região da nascente do rio Pirajibu-Mirim. Esses fragmentos correspondem à região de maior altitude e grande declividade, reforçando sua importância para a conservação.

Nos locais com declividade acentuada, o manejo adequado do solo se faz necessário para evitar erosões e deslizamentos de terra. Embora as extensões de floresta nativa, em especial a região das nascentes do Pirajibu-Mirim, ocupem a segunda maior área da microbacia, existem regiões de alta declividade que não possuem cobertura vegetal adequada e não são protegidas na ZCA. Essa zona corresponde a apenas 1,64% da área, e fica aquém do necessário em uma microbacia essencial à produção de água para abastecimento público.

A ZR concentra fragmentos de vegetação nativa e ocupa 28,2% da área total da microbacia. A região, de acordo com dados fornecidos pela Secretaria do Meio Ambiente do município, é propriedade de uma empresa, que a utiliza para o plantio de espécies arbóreas de interesse econômico entre fragmentos de mata nativa. Praticamente não há agricultura na microbacia, nem na ZR. A redução da ZR pode ter sido embasada por esse panorama, presente também no resto do município. No entanto, essa zona é imprescindível para o aumento da permeabilidade do solo nas cidades e contribui para a recarga dos lençóis freáticos.

O zoneamento proposto pelo plano diretor do município pode influenciar diretamente na paisagem e, consequentemente, na produção de serviços ambientais. Ele possibilita ainda a gestão integrada dos recursos hídricos, passando também para o município a responsabilidade por sua conservação (PIZELLA, 2015). A nova versão do documento, aprovada em 2014, instituiu a redução da ZR e da ZCA para o aumento da zona urbana, além da redução no tamanho mínimo dos lotes na ZCH. Essas medidas, que tiveram como justificativa a necessidade da ampliação de zonas residenciais, enfrentaram resistência de ambientalistas.

A especulação imobiliária já era um problema no município desde a elaboração do plano diretor, em 2004, e continua presente nos dias de hoje, conforme observado no mapa de uso do solo. Grande parte da microbacia é ocupada por áreas degradadas e ociosas que não provêm serviços socioeconômicos. Políticas como IPTU progressivo podem atenuar a questão de subutilização de propriedades. No entanto, a zona predominante na microbacia (ZCH) não foi incluída no plano diretor como passível de IPTU progressivo, ou seja, não existem até o momento mecanismos para reduzir esse problema na região. Os impactos ambientais da redução de áreas permeáveis e de conservação ambiental na microbacia só poderão ser avaliados em longo prazo. No entanto, fica claro que a reformulação do plano priorizou a expansão urbana em detrimento da conservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Orgs.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (SBRAD), 1988.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: Presidência da República, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- _____. *Lei n.º 10.257, de 10 de julho de 2001*. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2001. Disponível em: <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/lei-10257-2001-estatuto-da-cidade.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2017.
- _____. *Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 13 jan. 2017.
- _____. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: Período de 2008-2010*. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.
- _____. Ministério da Justiça. *Parcelamento, edificação ou utilização compulsórios e IPTU progressivo no tempo: Regulamentação e Aplicação*. Brasília, 2015. (Série Pensando o Direito, n.56).
- _____. *Resolução n.º 25, de 18 de março de 2005*. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/resolucao25.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- BROWN, G. The relationship between social values for ecosystem services and global land cover: an empirical analysis. *Ecosystem Services*, v.5, p.58-68, 2013.
- CALDERON-CONTRERAS, R.; QUIROZ-ROSAS, L. E. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: a case from Mexico City. *Ecosystem Services*, v. 23, p. 127-137, 2017.
- CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de microbacias. In: LIMA, V. P.; ZAKIA, M. J. B. (Orgs.). *As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. São Carlos: RiMa, 2006.
- CAMARGO, L. T.; MORAES, S. T. Plano Diretor Participativo: os desafios da gestão democrática da política urbana no município de Joinville (SC). *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 11, n. 2, p. 292-311, 2015.
- CAMERON, R. W. F.; BLANUSA, T.; TAYLOR, J. E.; SALISBURY, A.; HALSTEAD, A. J.; HENRICOT, B. et al. The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 11, p. 129-137, 2012.
- CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. *Recuperação e conservação de nascentes*. Viçosa: CPT, 2001. 84p.
- CHAIKAEWA, P.; HODGESB, A. W.; GRUNWALD, S. Estimating the value of ecosystem services in a mixed-use watershed: A choice experiment approach. *Ecosystem Services*, v. 23, p. 228-237, 2017.
- CHEN, X.; CHEN, Y.; SHIMIZU, T.; NIU, J.; NAKAGAMI, K.; QIAN, X. et al. Water resources management in the urban agglomeration of the Lake Biwa region, Japan: An ecosystem services-based sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, v.586, p.174-187, 2017.

- CHIODI, R. E.; MARQUES, P. E. M. Dos espaços públicos à negociação individualizada: a participação dos agricultores familiares no Projeto Conservador das Águas em Extrema – MG. *Revista Políticas Públicas*, v. 19, n.2, p. 455-465, 2015.
- CYMBALISTA, R.; SANTORO, P. F. *Planos diretores: processos e aprendizados*. São Paulo: Instituto Pólis, 2009.
- CORRÊA, C. J. P.; TONELLO, K. C.; FRANCO, F. S. Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. *Ambiente & Água*, v. 11, n. 4, p. 943-953, 2016.
- DELGADO, L. E.; MARÍN, V. H. Well-being and the use of ecosystem services by rural households of the Río Cruces watershed, southern Chile. *Ecosystem Services*, v. 21, p. 81-91, 2016.
- ESCOBAR, M. M.; HOLLAENDER, R.; WEAFFER, C. P. Institutional durability of payments for watershed ecosystem services: Lessons from two case studies from Colombia and Germany. *Ecosystem Services*, v. 6, p. 46-53, 2013.
- EZZINE-DE-BLAS, D.; RUIZ-PÉREZ, M.; MORENO-SANCHEZ, R. P. Global Patterns in the Implementation of Payments for Environmental Services. *PLoS ONE*, v. 11, n. 3, 2016.
- FAUSTINO, J. *Planificación y gestión de manejo de cuencas*. Turrialba: CATIE, 1996.
- FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. *Forest Ecology and Management*, v. 1, p. 58-66, 2013.
- FIGUEIREDO, R. O.; BÖRNER, J.; DAVIDSON, E. A. Watershed services payments to smallholders in the Brazilian Amazon: challenges and perspectives. *Ambiente & Água*, v. 8, n. 2, p. 6-17, 2013.
- GRIMA, N.; SINGH, S. J.; SMETSCHKA, B.; RINGHOFER, L. Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America: Analysing the performance of 40 case studies. *Ecosystem Services*, v. 17, p. 24-32, 2016.
- GUEDES, F. B., SEEHUSEN, S. E. (Orgs.). *Pagamento por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 277 p.
- HERZOG, C. P. A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. *Landscape and Ecological Engineering*, 2013.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical Approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v. 56, p. 807-813, 1945.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cidades*. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355220>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- _____. *Mapeamento Topográfico*. 1981. Disponível em: <<http://loja.ibge.gov.br/cartas-mapas-e-cartogramas/mapeamento-topografico>>. Acesso em: 22 jul. 2017.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC. *Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2014. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- JUJNOVSKY, J.; RAMOS, A.; CARO-BORRERO, A.; MAZARI-HIRIART, M.; MAASS, M.; ALMEIDA-LEÑERO, L. Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach. *Ecosystem Services*, v. 24, p. 91-100, 2017.
- KATSIFARAKIS, K. L.; VAFEIADIS, M.; THEODOSSIOU, N. Sustainable Drainage and Urban Landscape Upgrading Using rain gardens. Site Selection in Thessaloniki, Greece. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 4, p. 338-347, 2015.
- MIDDLE, I.; DZIDIC, P.; BUCKLEY, A.; BENNETT, D.; TYE, M.; JONES, R. Integrating community gardens into public parks: An innovative approach for providing ecosystem services in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 13, p. 638-645, 2014.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Protocolado n.º 079.677/15*. 2015. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/Assessoria_Juridica/Controle_Constitucionalidade/Adins_PGJ_Iniciais2015/3787F14AC23FF973E050A8C0DE0162F9>. Acesso em: 20 jun. 2017.

MOSCA, A. A. O. *Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas*. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MUNHOZ, J. S. B.; MINGOTI, R.; FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; VOIGTLANDER, M.; LIMA, W. P. Efeitos de uso do solo alternativo aos plantios florestais nas vazões máximas de riachos da Região Central do Estado do Paraná. *Revista Técnica do IEP*, v. 2, p. 15-26, 2012.

NAHLIK, A. M.; KENTULA, M. E.; FENNESSY, M. S.; LANDERS, D. H. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. *Ecological Economics*, v. 77, p. 27-35, 2012.

PEDROSA, D. C. D. A.; PEREIRA, S. V.; SILVA, G. L. Proposição de modelo de gestão ambiental: o caso da microbacia dos algodoads, cabo de santo agostinho – PE. *Gestão Pública: Práticas e Desafios*, v. 2, n. 2, p. 254-275, 2011.

PINHEIRO, R. C.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. O. A.; MINGOTI, R.; SANTOS, I. P. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP. *Irriga*, v. 16, n. 3, p. 234-245, 2011.

PIZELLA, D. G. A relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográficas na gestão hídrica. *Ambiente & Água*, v. 10, n. 3, p. 635-645, 2015.

PULIGHE, G.; FAVA, F.; LUPIA, F. Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. *Ecosystem Services*, v. 22, p.1-10, 2016.

RAPDEYE. Ministério do Meio Ambiente. *Geo catálogo MMA*. 2014. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

ROLNIK, R.; PINHEIRO, O. *Plano diretor participativo: guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos*. Brasília: Ministério das Cidades/CONFEA, 2004.

ROSA, F. S.; LEÃO, G. S.; VALENTE, R. O. A.; TONELLO, K. C. Pagamento por serviços ambientais e a proteção de recursos hídricos no contexto socioeconômico ambiental da microbacia do ribeirão do Murundu, Ibiúna - SP: uma análise diante do projeto piloto “Mina d’Água”. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 21, n. 2, p. 248-269, 2014.

ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; LOURENÇO, R. W. Eleição de áreas prioritárias para pagamento por serviços ambientais: uma análise em nível de microbacia. *Ambiente & Água*, v. 11, n. 2, p. 448-461, 2016.

SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; MORAES, J. M.; LIMA, W. P.; MARTINELLI, L. A. Riparian vegetation and water yield: A synthesis. *Journal of Hydrology*, v. 454, n. 455, p. 195-202, 2012.

SÃO PAULO. *Decreto n.º 56.589, de 10 de novembro de 2015*. Regulamenta a aplicação do Imposto Predial e Territorial Urbano Progressivo no Tempo. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/financas/legislacao/decreto-56589-2015.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

SÃO PAULO. *Lei n.º 16.050, de 31 de julho de 2014*. Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo e revoga a Lei n.º 13.430/2002. São Paulo: Assembleia Legislativa, 2014. Disponível em: <http://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/PDE-Suplemento-DOC/PDE_SUPLEMENTO-DOC.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2017.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Geological Society of America*, v. 67, p. 597-646, 1956.

SILVA, J. B. O estatuto da cidade e a reforma urbana no Brasil. *GEOUSP*, São Paulo, v. 10, p. 9-26, 2001.

SIRAKAYA, A.; CLIQUET, A.; HARRIS, J. Ecosystem services in cities: Towards the international legal protection of ecosystem services in urban environments. *Ecosystem Services*, 2017.

SMITH, W. S.; MOTA JUNIOR, V. D.; CARVALHO, J. L. *Biodiversidade no município de Sorocaba*. Sorocaba: Secretaria do Meio Ambiente, 2014.

SOROCABA. *Lei n.º 7.122, de 4 de junho de 2004*. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial. Sorocaba: Câmara dos Vereadores, 2004. Disponível em: <<https://camara-municipal-da-sorocaba.jusbrasil.com.br/legislacao/529968/lei-7122-04>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

_____. *Lei n.º 10.497, de 10 de julho de 2013*. Institui, nos termos do art. 182, § 4º da Constituição Federal, os instrumentos para o cumprimento da função social da propriedade urbana no município de Sorocaba, através do IPTU progressivo, e dá outras providências. Sorocaba: Câmara dos Vereadores, 2013a. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sorocaba/lei-ordinaria/2013/1050/10497/lei-ordinaria-n-10497-2013-institui-nos-termos-do-art-182-4-da-constituicao-federal-os-instrumentos-para-o-cumprimento-da-funcao-social-da-propriedade-urbana-no-municipio-de-sorocaba-atraves-do-iptu-progressivo-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 4 fev. 2017.

_____. *Lei n.º 11.022, de 16 de dezembro de 2014*. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial do Município de Sorocaba e dá outras providências. Sorocaba: Câmara dos Vereadores, 2013b. Disponível em: <<http://www.sorocaba.sp.gov.br/portal/servicos/plano-diretor-lei-n-11-022-de-16-de-dezembro-de-2014>>. Acesso em: 5 fev. 2017.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. T. (Org.). *Handbook of applied hydrology: a compendium of water resources technology*. Nova York: McGraw Hill, 1964.

TENGBERG, A.; FREDHOLM, S.; INGEGARD, E.; KNEZ, I.; SALTZMAN, K.; WETTERBERG, O. Cultural ecosystem services provided by landscapes: Assessment of heritage values and identity. *Ecosystem Services*, v. 2, p. 14-26, 2012.

THERY, H.; THÉRY, N. A. M. Disparidades territoriais e capacidade de gestão dos governos municipais. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, p. 351-367, 2014.

TONELLA, C. Políticas Urbanas no Brasil: marcos legais, sujeitos e instituições. *Sociedade e Estado*, v.28, n.1, p. 29-52, 2013.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. *Árvore*, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

WUNDER, S. Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics*, n. 117, p. 234-243, 2015.

ZIMMERMANN, E.; BRACALENTI, L.; PIACENTINI, R.; INOSTROZA, L. Urban flood risk by increasing green areas for adaptation to climate change. *Procedia Engineering*, v. 161, p. 2241-2246, 2016.

ENERGIA EM TEMPO DE DESCARBONIZAÇÃO: UMA REVISÃO COM FOCO EM CONSUMIDORES FOTOVOLTAICOS

ENERGY IN TIME OF DECARBONISATION: A REVIEW FOCUSED ON PHOTOVOLTAIC CONSUMERS

Josely Nunes-Villela

Especialização em Sustentabilidade no *Master in Strategic Leadership towards Sustainability* pelo Blekinge Institute of Technology – Karlskrona, Suécia. Mestre em Sistemas de Gestão do Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Doutoranda em Sistemas de Gestão Sustentáveis na UFF. Graduada em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC). Professora no Centro Universitário Serra dos Órgãos (UNIFESO) e na Universidade Estácio de Sá (UNESA) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. Bolsista da Capes. Trabalha com conteúdos e sistemas de Planejamento, Sustentabilidade e Gestão.

Filipe de Oliveira Rapozo

Engenheiro de Produção pelo Centro Universitário Serra dos Órgãos (UNIFESO) – (RJ). Pós-graduando em Engenharia e Gerenciamento da Manutenção na Universidade Cândido Mendes (UCAM) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Maria de Lurdes Costa Domingos

Doutorado em Psicologia Social pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestrado em Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Especialização em Psicologia Clínica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC). Graduação em Psicologia pela UFRJ, Docente na Universidade Veiga de Almeida (UVA). Professora permanente no Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente (LATEC-UFF) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas

Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestrado e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pesquisador do Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente (LATEC-UFF). Coordenador do Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis (UFF). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal Fluminense (UFF). Membro efetivo da Comissão de Responsabilidade Social do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Endereço para correspondência:

Josely Nunes-Villela – Estrada Julio Santoro, 365, Condomínio Parque da Serra da Caneca Fina – 25949-400 – Guapimirim (RJ), Brasil – E-mail: josely@principiosustentavel.com

Recebido: 01/06/2017

Aceito: 31/07/2017

RESUMO

As energias limpas e renováveis têm sido cada vez mais importantes para o progresso do desenvolvimento sustentável e o êxito da estratégia de descarbonização. Observando a energia solar no Brasil, a autogeração colocou os consumidores residenciais no centro da expansão fotovoltaica. Assim, o objetivo deste estudo é investigar o comportamento desses consumidores inseridos na realidade brasileira, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct*, *Annual Reviews* e *American Psychological Association*. Foram identificados relatos de experiências brasileiras, reais e simuladas, envolvendo consumidores fotovoltaicos residenciais de diferentes perfis socioeconômicos, e ausência de publicações específicas sobre decisão e motivação desses atores sociais. Os estudos localizados revelaram um promissor desenvolvimento para a energia solar no Brasil, a necessidade de avanços na conscientização pública e, sobretudo, na política de incentivo aos consumidores. A lacuna identificada é uma fragilidade a ser corrigida em prol do avanço da energia fotovoltaica.

Palavras-chave: energia solar; desenvolvimento sustentável; consumidores residenciais; consumo consciente.

ABSTRACT

Clean and renewable energies have been increasingly important to the progress of sustainable development and the success of the decarbonisation strategy. Looking at solar energy in Brazil, self-consumption has put residential consumers at the center of the photovoltaic expansion. Thus, the objective of this study is to investigate the behavior of these consumers inserted in the Brazilian reality, through a systematic bibliographic review in the databases *Scopus*, *Science Direct*, *Annual Reviews* and *American Psychological Association*. Real and simulated Brazilian experiences were reported, involving residential photovoltaic consumers of different socioeconomic profiles, and absence of specific publications about decision and motivation of these social actors. The localized studies revealed a promising development for solar energy in Brazil, the need for advances in public awareness and, above all, in the policy of encouraging consumers. The identified gap is a fragility to be corrected for the advancement of photovoltaic energy.

Keywords: solar energy; sustainable development; residential consumers; conscious consumption.

INTRODUÇÃO

A crise sistêmica ambiental convida à mudança da visão de mundo identificada com crescimento ilimitado e uso abusivo de recursos naturais, para a visão do desenvolvimento sustentável, que mantém o compromisso intergeracional de conservação e recuperação do sistema que sustenta a vida. A transição bem-sucedida depende do posicionamento estratégico dos protagonistas decisivos, governos, empresas e sociedades, no interior de uma economia moldada por escolhas com base na melhor equação custo-benefício (ABRAMOVAY, 2010). Do ponto de vista da sustentabilidade, a melhor equação implica condicionar as necessidades (e desejos) à limitação dos recursos, assim como o processo econômico ao meio ambiente (CAVALCANTI, 2015). O êxito depende da mudança de paradigmas e da efetiva participação dos atores sociais. Do Estado são demandadas:

1. uma regulamentação capaz de cobrar a gestão integrada da produção do berço ao túmulo;
2. a condução de uma gestão pública capaz de alterar os padrões de consumo, atuando na dimensão cultural e educacional (ZANETI *et al.*, 2009).

Das empresas e da sociedade é esperado o posicionamento para modos de vida sustentáveis, afinal, o consumo consciente requer mudanças de hábito e disposição para novas escolhas, em que se inscreve a opção por soluções limpas e de eficiência energética.

Em 2009, na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 15), o Brasil assumiu o compromisso voluntário de reduzir entre 36,1 e 38% as suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) até 2020, com foco na redução do desmatamento e no maior uso de energias renováveis (OBERMAIER & ROSA, 2013). No entanto, na área da energia, Abramovay (2010) observa que o Brasil está na contramão do padrão internacional de intensidade energética, priorizando o menor preço em detrimento do meio ambiente, sem estimular a economia no consumo de energia e mantendo pesados investimentos em petróleo. A mudança climática se apresenta “como o elo mais difícil e de consequências mais sérias entre energia e meio ambiente” (CHU & GOLDEMBERG, 2010, p. 59) e gravíssimo é o fato de que do total de CO₂ que poderia ser queimado até 2050, para manter o limite de 2°C na

elevação da temperatura, mais de um quarto já foi usado em pouco mais de dez anos (ABRAMOVAY, 2014).

Ao final da Conferência das Partes (COP 21), realizada em Paris, em dezembro de 2015, foi celebrado um novo acordo global no combate às mudanças climáticas e redução das emissões de GEEs, o Acordo de Paris, que propõe a manutenção do aquecimento global abaixo de 2°C, o que requer a redução das emissões de 55 gigatoneladas (nível projetado para 2030) para 40 gigatoneladas ou o limite de aumento da temperatura em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (ONU, 2015; ONU BRASIL, 2017). Guimaraes (2016) ressalta que dentre as mais importantes medidas de mitigação figura a substituição gradativa das fontes de energia fósseis por energias limpas e de baixo carbono.

Para Abramovay (2014), o ponto de virada está no fato de que as mudanças climáticas começam a figurar no cálculo dos mais importantes atores econômicos globais, deixando de ser apenas uma questão ecológica ou ambiental. Assim, todas as soluções apontam para a descarbonização — o mundo precisa de uma nova revolução industrial apoiada em eficiência energética, conservação e descarbonização das fontes de energia (CHU & MAJUMDAR, 2012). Nas palavras de Ban Ki-moon, “temos que nos livrar do hábito do carbono” (PNUMA, 2009). A neutralidade climática corresponde a não produzir emissões líquidas de GEEs, por meio da redução das próprias emissões e de compensações de carbono (PNUMA, 2009).

Este estudo objetivou conhecer o comportamento de consumidores residenciais fotovoltaicos inseridos na realidade brasileira e, para tanto:

- adotou um olhar sistêmico;
- discutiu o cenário da geração de energia, com ênfase em fontes limpas e renováveis;
- traçou o panorama da energia solar no Brasil; e
- destacou os consumidores residenciais, personagens centrais na estratégia de expansão da energia fotovoltaica por autogeração.

Como recurso metodológico foram usadas a revisão narrativa, para posicionar o cenário atual de geração energética, e a revisão sistemática, para localizar os estudos de interesse.

BREVE PANORAMA DO CONSUMO DE ENERGIA

A demanda por energia aumenta na medida do crescimento demográfico e das necessidades renovadas de consumo da sociedade, hoje com população estimada em 7 bilhões e, no futuro, com 8,5 bilhões, em 2030, 9,7 bilhões, em 2050, e 11 bilhões, em 2100, segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) (ONU Brasil, 2015). No que tange à questão energética, o tamanho do desafio mundial pode ser compreendido se analisarmos os elos históricos entre uso de energia, população e crescimento econômico confrontados com os padrões atuais de consumo e se considerarmos a lacuna inaceitável de acesso à energia que atinge 1,3 bilhões de pessoas em todo o mundo (GUIMARÃES, 2016).

Até o final do século XVIII, o desenvolvimento humano apresentou taxas moderadas de crescimento populacional, renda *per capita* e uso de energia, mas com os avanços da Revolução Industrial, sobretudo nos últimos 100 anos, a população mundial cresceu 3,8 vezes, a renda *per capita* mundial aumentou 9 vezes, o uso anual de energia primária 10 vezes e o uso de energia fóssil 20 vezes (CHU & GOLDEMBERG, 2010). O crescimento econômico é um dos fatores fundamentais no aumento da demanda energética — a partir de 1971, cada 1% de aumento do Produto Interno Bruto (PIB) global é acompanhado de 0,6% de aumento no consumo de energia primária (GREENPEACE, 2007). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aponta o consumo de energia como um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade, visto que reflete a dinâmica dos setores da economia e o poder de compra da população. Quando o poder de compra sobe, a população investe em automóveis e aparelhos elétricos, aumentando a demanda por combustível e eletricidade (ANEEL, 2008). Essa inter-relação é tratada nos cenários prospectivos de energia para 2035 da *British Petroleum* (BP), onde estão registrados aumentos na demanda de energia impulsionados pelo crescimento econômico (Figura 1).

A Exxonmobil (2014) projeta um aumento de, aproximadamente, 35% na demanda energética global, de 2010 a 2040. China e Índia, os dois países mais popu-

losos do mundo, serão responsáveis por metade desse crescimento e os maiores aumentos na demanda de energia ocorrerão nos países em crescimento. Nos Estados Unidos e em outros países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), cujos padrões de vida e consumo de energia *per capita* já são relativamente altos, a maior eficiência energética e o menor crescimento populacional manterão estável a demanda global de energia. Embora considerando a possibilidade de reflexos da presente crise global nessas projeções, a tendência de crescimento parece indiscutível no horizonte de tempo previsto.

Chu e Goldemberg (2010) consideram um desafio conter a dinâmica que determina as tendências crescentes do uso de energia, em função dos altos níveis de consumo em países desenvolvidos, do crescimento da população mundial, da industrialização de países em desenvolvimento, da infraestrutura energética consolidada e da crescente demanda por serviços e supérfluos. Mesmo nos países em desenvolvimento, em que o consumo *per capita* é pequeno, para suprir a demanda reprimida de serviços energéticos finais (iluminação, aquecimento, cocção etc.) será necessário aumentar a oferta global de energia (LUCON & GOLDEMBERG, 2009). Chu e Goldemberg (2010) pontuam que em diferentes países com grandes diferenças no consumo *per capita*, a tendência dos domicílios de maior poder aquisitivo é comprar aparelhos consumidores de energia. Assim, todas as pessoas, por meio de seu comportamento, estilo de vida e preferências, influem na demanda futura de energia (idem, 2010).

Sachs (2007) acredita que, para alcançar o perfil energético sóbrio, é necessário considerar fatores como estilo de vida e padrões de consumo e atribui o maior entrave às desigualdades sociais. A esse respeito, ao mesmo tempo em que é possível reduzir o consumo de energia em muitos países, pode-se melhorar a qualidade de vida dos que vivem na pobreza e para ambos, países desenvolvidos e em desenvolvimento, existem oportunidades para vencer o desafio energético de maneira sustentável (CHU & GOLDEMBERG, 2010).

CENÁRIO ATUAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA COM ÊNFASE EM ENERGIAS LIMPAS

Os serviços de energia dinamizam uma cadeia complexa de transformação, transporte e estocagem a partir de

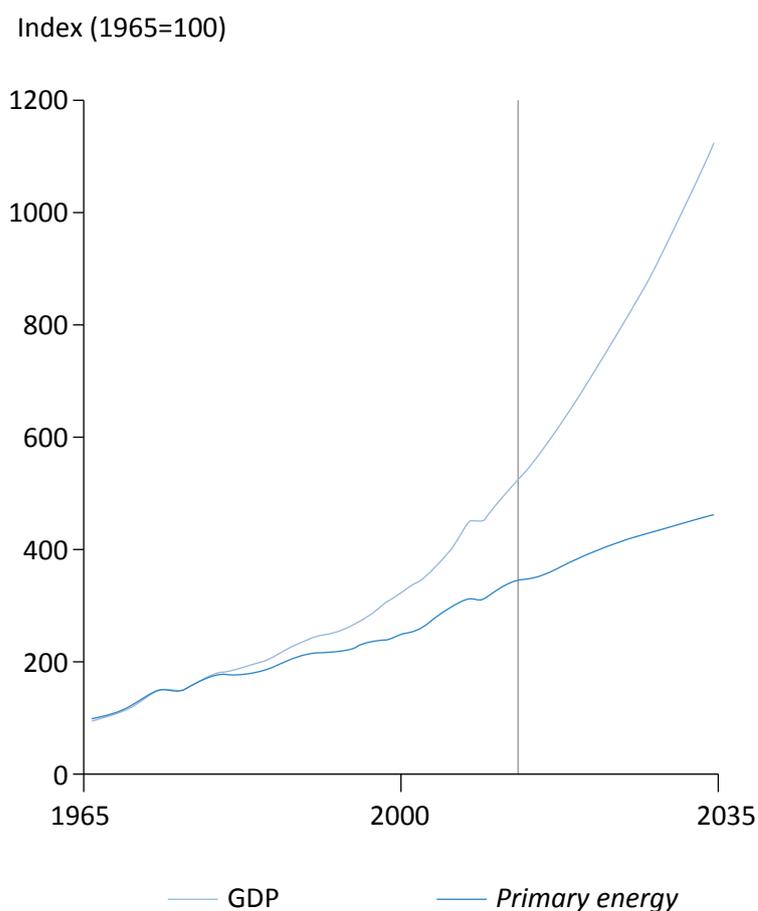
fontes primárias (disponíveis na natureza) que podem ser renováveis ou não renováveis. Chu e Goldemberg

(2010) observam que no mundo é predominante a oferta de energia por combustíveis fósseis — carvão, petróleo e gás natural são responsáveis por, aproximadamente, 80% da demanda de energia primária. A combinação de diversas fontes na configuração da matriz energética é histórica e viabilizou o desenvolvimento de um sistema energético estável por cerca de cem anos (SILVA, 2006).

Diante da atual disponibilidade de suprimentos energéticos, a insistente opção de muitos países por energia fóssil, relativamente barata (CHU & GOLDEMBERG, 2010), influencia diretamente o desempenho do sistema socioeconômico mundial. Esse panorama, associado ao tímido investimento em energias renováveis, demonstra total descompasso em relação às mudanças climáticas que figuram na pauta internacional como

uma ameaça sem precedentes (RENNER & PRUGH, 2014). Sachs (2005) defende que o modelo baseado em energias fósseis deve ser abandonado e, sobretudo, devido à contínua emissão de gases de efeito estufa, urge desvincular crescimento econômico da dependência de combustíveis fósseis. Para esse autor, a insistência na geopolítica atual do petróleo tende a intensificar as tensões, com risco de sucessivas guerras e custos crescentes advindos da concorrência entre as grandes potências industriais. O Greenpeace (2007) acrescenta riscos técnico-econômicos relacionados ao esgotamento das reservas fósseis, à oscilação dos preços no mercado mundial e à elevação dos custos de produção.

Os elevados preços dos combustíveis fósseis, em parte como consequência dos altos custos de produção men-



GDP: Gross Domestic Product.

Figura 1 – Projeção do Produto Interno Bruto (PIB) e do consumo de energia mundiais para 2035 (BP, 2016).

cionados, e esses relacionados ao esgotamento progressivo dos estoques, denunciam a necessidade de uma transição para uma matriz diversificada. Nesse contexto, as energias renováveis apresentam a vantagem de suas reservas serem “tecnicamente acessíveis a todos e abundantes o suficiente para fornecer cerca de seis vezes mais energia do que a quantidade consumida mundialmente hoje — e para sempre” (GREENPEACE, 2007, p. 7). Estudos mostram que a energia disponibilizada por fontes de energias renováveis é 2.850 vezes maior do que a demanda global atual. Embora apenas uma parte desse potencial esteja tecnicamente acessível, é capaz de fornecer seis vezes mais energia do que o mundo necessita hoje (GREENPEACE, 2007). Segundo o *World Energy Council* (2013), a radiação solar anual que incide sobre a Terra é mais de 7.500 vezes o consumo total de energia primária anual do mundo, de 450 EJ (*exajoules*).

Os governos também investem em fontes de energias renováveis para reduzir a emissão de gases poluentes e conter o avanço do aquecimento global. Para Lucon e Goldemberg (2009), a descentralização da produção de energia, a maior participação das fontes renováveis e a eficiência constituem o tripé da reorganização sustentável do sistema energético. Sachs (2007) defende a revolução energética apoiada em políticas públicas nacionais e internacionais voltadas à redução da demanda, combinando as estratégias de aumento da eficiência na produção, uso de energias renováveis em substituição às energias fósseis e sequestro de gases de efeito estufa das energias fósseis abundantes. Para Lucon e Goldemberg (2009), as novas fontes renováveis (biomassa, eólica, pequenas centrais hidrelétricas), em função da baixa utilização, ainda são consideradas caras, tendendo a manter essa condição até que os investimentos na sua produção e distribuição se intensifiquem.

Além do conceito clássico da Geração Distribuída de Energia, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apresenta o conceito da oferta descentralizada de energia que incorpora “a produção descentralizada de qualquer vetor energético [sobretudo aplicável] a sistemas de bioenergia” (EPE, 2014, p. 203), gerando energia em escala reduzida, próximo ao ponto de consumo. Os sistemas descentralizados evitam desperdício em transmissão e distribuição, garantem energia às populações ainda sem acesso, produzem menos emissões de carbono, são mais baratos e criam mais empregos (GREENPEACE, 2007). Na Alemanha, o concreto avan-

ço do setor das energias renováveis não convencionais (onde não se incluem as grandes centrais hidroelétricas) repercutiu favoravelmente na economia, com 377.800 empregos registrados em 2012 (MELO *et al.*, 2016).

A matriz elétrica brasileira está distribuída como apresentado na Figura 2, na qual se observa a predominância renovável — 81,7% resultante da soma referente à produção nacional e às importações.

Devido ao ciclo da água, a fonte hídrica é renovável e sua energia considerada limpa. No entanto, o impacto ambiental que as usinas hidroelétricas provocam ainda não foi adequadamente avaliado, mas sabe-se que as emissões ocorrem, sobretudo, pela liberação de metano (CH₄) em processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica presente nas áreas alagadas (NOBRE, 2014). A geração hidráulica corresponde a 68,1% da oferta interna, justificável porque o Brasil é detentor de 10% do potencial hidráulico técnico mundial, e as usinas podem ser construídas com 100% de insumos e serviços nacionais, gerando emprego e renda no país (TOLMASQUIM, 2012).

A forte presença de fontes hídricas na matriz energética brasileira é uma questão controversa. Lucon e Goldemberg (2009) afirmam que no novo cenário de energias renováveis, o Brasil é considerado uma potência mundial por conta do investimento em bioetanol e de seu parque hidrelétrico, enquanto Abramovay (2010) considera questionável que a matriz energética brasileira seja percebida como um trunfo em prol do desenvolvimento sustentável. Ele observa os movimentos contra a expansão das usinas hidrelétricas na Amazônia (a exemplo da Usina de Belo Monte, uma dentre as 412 barragens programadas ou em obras na região), julga que o retorno não é proporcional ao custo e que o tempo médio de construção extrapola o previsto (ABRAMOVAY, 2014).

O porte de uma usina influencia as dimensões da rede de transmissão e é determinado pela potência instalada (ANEEL, 2008):

- Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com até 1 MW de potência instalada;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), entre 1,1 e 30 MW de potência instalada;
- Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), com mais de 30 MW.

O Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL (2016a) atualizou o panorama de usinas hidrelétricas em operação no Brasil: 558 CGH, com potência total de 433 MW; 458 PCH com 4,852 mil MW de potência instalada; 206 UHE com uma capacidade total instalada de 83,310 mil MW.

A biomassa, que apresenta discretos 8,2% (Figura 2), tem uma perspectiva de avanço no Brasil, que possui condições favoráveis para implantá-la, conforme relacionado por Sachs (2005):

- reservas de biodiversidade;
- terras cultiváveis e recursos hídricos;
- climas variados;
- pesquisa agrônômica e biológica de classe internacional;
- indústria capaz de produzir equipamentos para a produção de etanol e de biodiesel.

O Brasil utiliza biomassa líquida (biocombustíveis como o etanol e o biodiesel), em estado gasoso (biogás,

proveniente dos aterros sanitários) e sólida (bagaço de cana, principal resíduo para geração de eletricidade por biomassa no país). Nas usinas de cogeração, o funcionamento é semelhante às termelétricas, porém, o combustível queimado é renovável e as emissões de CO₂ podem ser reabsorvidas na safra seguinte (GREENPEACE, 2013). A ANEEL (2008) informa que o uso da biomassa na geração de energia elétrica tem sido crescente no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração, e Chu e Goldemberg (2010) asseguram que há margem para uma expansão significativa. A partir de estudo realizado com o etanol, Barbosa (2016) observa que Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) é a principal via de redução de custos, logo, faz sentido pensar na criação desses fundos.

Abramovay (2010) aponta a incoerência do Brasil acionar usinas termelétricas e manter o discurso da suposta inviabilidade da energia solar ou eólica. A energia eólica, posicionada em 5,4% (Figura 2), pode ser importante para o propósito de redução do dióxido de carbono, a exemplo do maior parque eólico *offshore* do globo, London Array, cuja redução é de aproximadamente 1,2 milhões de tone-

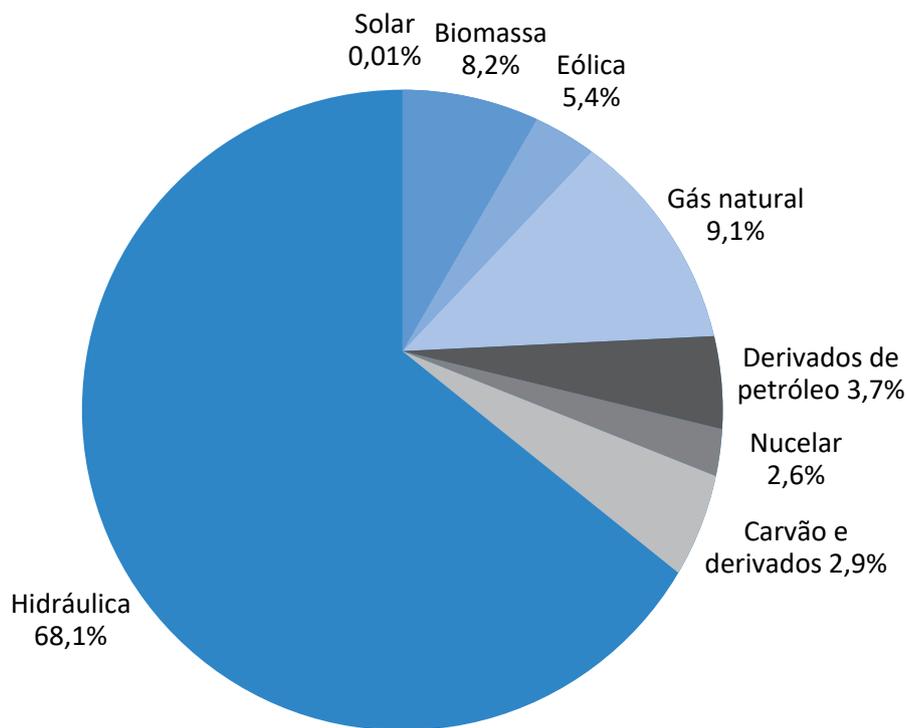


Figura 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil, em 2016, segundo a EPE (2017).

ladas por ano (DUARTE, 2014). Se considerarmos que os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos de torres eólicas no mundo se instalam em áreas costeiras, onde os ventos são mais abundantes, ou em território *offshore* (GREENPEACE, 2007), o Brasil, cuja área costeira é de aproximadamente 7,4 mil km (PORTAL BRASIL, 2015a), tem uma perspectiva auspiciosa de geração. A avaliação do potencial de vento indica que, no Brasil, há um gigantesco potencial comercial de aproveitamento eólico ainda não explorado (SILVA, 2006) e regiões como Ceará e Rio Grande do Norte possuem o dobro da capacidade de geração da Alemanha (DUARTE, 2014). Em 2016, a geração eólica atingiu 33,5 TWh, o correspondente a 54,9% de crescimento, e a potência instalada para geração eólica chegou a 10.124 MW, uma expansão de 32,6% (EPE, 2017). Segundo Barbosa (2016), a redução de custos é possível por meio de P&D e ganho de escala.

A presença da energia solar na matriz energética é inexpressiva (0,01%), embora o mercado mundial de painéis fotovoltaicos esteja em franca expansão. O tripé que leva o Greenpeace (2010) a antever a competitividade dessa tecnologia em relação aos valores médios de tarifas elétricas considera esse crescimento, acima de 30% ao ano (de 2005 a 2010), o propósito de reduzir o uso de matéria-prima e a considerável queda de preços (cerca de 20% a cada duplicação da capacidade instalada). Um sistema fotovoltaico também opera em dias nublados, mas quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de energia elétrica (ANEEL, 2008). No Brasil, apesar das diferenças climáticas, a irradiação solar apresenta bom padrão de uniformidade e médias anuais comparativamente altas — a irradiação solar global que incide em qualquer região do território brasileiro (1.500 a 2.500 kWh/m²) é superior à da Alemanha (900 a 1.250 kWh/m²), França (900 a 1.650 kWh/m²) e Espanha (1.200 a 1.850 kWh/m²), países onde o aproveitamento de recursos solares é expressivo (PEREIRA *et al.*, 2006). No *ranking* da produção de energia solar, a Alemanha se destaca com cerca de 22% (39 GW) de capacidade instalada fotovoltaica global (MELO *et al.*, 2016), fruto de seu programa de diversificação e “limpeza” da matriz energética, propósito compartilhado por Japão, Estados Unidos e Espanha. Em 2007, esses quatro países, em conjunto, concentraram 84% da capacidade mundial (ANEEL, 2008). Atualmente, na maioria dos países desenvolvidos do mundo (Estados Unidos, Reino Unido, Itália e Alemanha), a autogeração é um dos principais sistemas de desenvolvimento solar fotovoltaico (SARASA-MAESTRO *et al.*, 2016).

Guerra e Youssef (2012) destacam benefícios ecológicos na produção de eletricidade por meio de usinas fotovoltaicas: o potencial de mitigação das mudanças climáticas (mínima emissão de gases de efeito estufa) e a não interferência nos ecossistemas naturais, na medida em que as implantações não demandam desmatamento e utilizam sistemas de distribuição já existentes. Pereira *et al.* (2006) destacam o benefício social de sistemas descentralizados que suprem a população sem acesso à energia ou que a tem em escassez, como acontece na maior parte da região amazônica, onde a demanda é dispersa e a densidade energética relativamente pequena.

A energia solar fototérmica, usada para aquecimento de água, sobretudo em residências, hospitais e hotéis, é uma importante medida de eficiência energética que dispensa o uso de chuveiros elétricos, em linha com a Arquitetura Bioclimática, que considera soluções adaptadas às condições locais de clima e hábitos de consumo (CRESESB, 2006). Guimarães (2016) aponta algumas características que distinguem a energia solar das demais fontes limpas e renováveis:

- sua distribuição próxima ao centro de consumo elimina perdas de transmissão;
- é a única que pode ser produzida em grandes centros urbanos, onde não faltam edificações e telhados, e também em locais remotos;
- a geração realizada por pequenos produtores poderá assegurar rentabilidade a diferentes projetos;
- as preocupações geopolíticas serão minimizadas na medida em que os países sejam, simultaneamente, produtores e consumidores de energia;
- a disponibilidade de radiação solar difere entre as regiões, em função do clima e da latitude, o que pode determinar diferenças substanciais no custo;
- a intermitência da radiação requer armazenamento da energia produzida, por meio de baterias de acumuladores.

Segundo Barbosa (2016), a energia fotovoltaica necessita elevar a produção para aumentar a escala, gerando ganhos de aprendizado e barateamento dos custos.

Esse cenário, à luz da proposta de desenvolvimento sustentável, aponta para a necessidade de investimen-

tos significativos que aumentem a participação das energias limpas na matriz energética brasileira.

O CONTEXTO DA AUTOGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL E A OPÇÃO DO CONSUMIDOR POR ENERGIA SOLAR

O significativo aumento do consumo de eletricidade se deve ao crescimento demográfico e estilo de vida da população — mesmo em meio à crise econômica, o consumo no setor residencial apresentou crescimento de 1,4% (EPE, 2017), reiterando que as escolhas e os hábitos dos consumidores são elementos-chave nessa transição (GREENPEACE, 2010). Sachs (2007) sugere a combinação de um perfil mais sóbrio no consumo de energia e maior eficiência no uso da energia disponível.

Em seu estudo sobre a governança de energias renováveis não convencionais, Melo, Jannuzzi e Bajay (2016) observam interferências na descentralização da produção energética no Brasil: a Petrobras e a Eletrobras, vislumbrando perdas no mercado de eletricidade, têm interesse em adiar o avanço das energias renováveis; a ANEEL é fortemente influenciada por empresas de fornecimento de energia, que se opõem ao desenvolvimento da geração distribuída. Com base na análise da experiência bem-sucedida da Alemanha, esses autores concluem que o Brasil carece de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), maior articulação nas medidas adotadas, assessoria técnica e planejamento de longo prazo.

O impulso inicial para as energias renováveis não convencionais e o protagonismo dos consumidores advêm de leis e programas governamentais, em que se destacam:

- a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), que estabelece a possibilidade de microgeração (potência instalada até 75 kW) e minigeração (potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW) e o incentivo por meio do qual a energia excedente gerada pelo consumidor pode ser cedida à concessionária em sistema de compensação, implicando crédito nas contas subsequentes de energia;
- a Resolução Normativa nº 687, de 2015 (ANEEL, 2015), que estende a geração distribuída a condomínios ou prédios com múltiplas residências e apresenta o conceito de geração compartilhada, por meio de consórcio ou cooperativa de pessoa física ou jurídica, em que os bônus energéticos po-

dem ser utilizados em um outro local, caso as duas unidades estejam inseridas na mesma área de concessão e reunidas por comunhão de fato ou direito (SOLARVOLT, 2017);

- o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (ProGD), instituído em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), dá ênfase à geração de energia solar fotovoltaica e busca evitar a emissão de 29 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, até 2030 (BRASIL, 2015). Para tanto, o ProGD prevê a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), do Programa de Integração Social e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre a energia inserida pelo consumidor na rede pública, redução do imposto de importação sobre bens para produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica e taxas diferenciadas concedidas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) a projetos em escolas e hospitais públicos.

Os resultados divulgados, em janeiro de 2017, pela ANEEL registram 7.610 conexões de geração distribuída pelos consumidores, que somam 73.569 kW de potência instalada. Dessas, 7.528 conexões e 57.606 kW são advindos da energia solar fotovoltaica, com destaque para os consumidores domésticos, que correspondem a 6 mil conexões (PORTAL BRASIL, 2017). A maior disseminação da energia fotovoltaica no Brasil se deu no combate à exclusão elétrica, apoiada na Lei da Universalização (ANEEL, 2016b), por meio do programa social Luz para Todos. O programa, direcionado a famílias de baixa renda do meio rural que residem longe das redes de distribuição, de 2003 a 2014 beneficiou 3.184.946 famílias, o equivalente a 15,3 milhões de pessoas (PORTAL BRASIL, 2015b).

Neste estudo, assume-se que o consumidor fotovoltaico é aquele que opta pela implantação de módulos

fotovoltaicos para geração de energia elétrica própria. Mas o contexto em que essa escolha se dá — com ou sem subvenção do governo, ausência ou não de suprimento regular de eletricidade — faz diferença porque resulta em um consentimento ou em uma decisão de investimento. Analisemos dois exemplos relacionados à decisão de investimento:

- o governo do Reino Unido definiu políticas de combate às emissões domésticas de GEEs e metas nacionais audaciosas para estimular o uso da energia solar. Como no setor doméstico o sucesso dependeria da adoção dessa tecnologia pelos proprietários privados, em 2002 foi lançada a concessão para sistemas solares com subsídio que reduzia o custo em até 50%. Houve grande interesse e baixa adesão (FAIERS & NEAME, 2006);
- na Tailândia, apesar do grande interesse nos benefícios proporcionados pela energia solar, o governo não adota a política de incentivo financeiro, sem a qual os consumidores individuais não têm recursos para realizar o investimento nem se sentem motivados a assumi-la como prioridade (TIMILSINA et al., 2000). Essas experiências sugerem que a questão

econômica não parece ser a única determinante, visto que o movimento dos consumidores não muda radicalmente na presença do incentivo.

O modelo apresentado por Rogers (1995) demonstra que a decisão de uma pessoa a respeito de uma inovação não é instantânea, mas um processo complexo que envolve conhecimento do produto, persuasão ou aumento da consciência, decisão (rejeição ou aprovação da inovação, embora com risco de interrupção do uso), implementação (quando cessa o exercício meramente mental e se inicia a experimentação) e confirmação das expectativas. Esse modelo não esgota as variáveis envolvidas na decisão, dentre as quais a motivação, mas apresenta uma análise que vai além da valoração meramente econômica.

Para compreender como a decisão dos consumidores fotovoltaicos residenciais se configura e conhecer os estudos empreendidos no Brasil com foco nesses consumidores, após esta revisão narrativa e seguindo a classificação metodológica proposta por Botelho et al. (2011), foi realizada uma revisão sistemática em bases de dados, apresentada a seguir.

METODOLOGIA

Considerando que um ponto crítico da revisão bibliográfica sistemática (RBS) é a escolha das fontes, foram utilizadas as bases de dados que compõem o sistema da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), de acordo com a indicação proposta pelo *Centre for Reviews and Dissemination* (CRD), que é referência no uso da RBS (GOMES & CARMINHA, 2014). Dentre as opções existentes, foram consultadas as bases de dados *Scopus*, *Science Direct*, *Annual Reviews* e *American Psychological Association* (APA PsycNet). A escolha dessas fontes visou o maior valor agregado e foi apoiada em informações da CAPES, com destaque para os seguintes critérios:

- qualidade do acervo, aplicável às quatro bases de dados;
- amplitude do acervo, especialmente aplicável à *Science Direct*, que conta com 1.800 periódicos publicados em texto completo pela Elsevier, em todas as áreas do conhecimento;

- convergência esperada, em que a *Scopus*, como base referencial da Editora Elsevier, indexa títulos acadêmicos revisados, a *Annual Reviews* opera com sínteses de pesquisas desenvolvidas em diversas áreas do conhecimento e a APA PsycNet foca duas importantes áreas de interesse, psicologia e ciências sociais.

A pesquisa buscou identificar se existem publicações que abordam os consumidores fotovoltaicos brasileiros, o que orientou a formulação de três perguntas centrais norteadoras desta revisão:

- há publicações que abordam a questão dos consumidores fotovoltaicos no Brasil?;
- há publicações que abordam aspectos relacionados à decisão dos consumidores brasileiros de energia fotovoltaica?;
- há publicações que abordam aspectos relacionados à motivação dos consumidores brasileiros de energia fotovoltaica?

Essas perguntas definiram os descritores “consumidores fotovoltaicos brasileiros”, “decisão de consumidores fotovoltaicos brasileiros” e “motivação de consumidores fotovoltaicos brasileiros”, utilizados na língua inglesa (*Brazilian photovoltaic consumers, decision of Brazilian photovoltaic consumers, motivation of Brazilian photo-*

voltaic consumers). Para ampliar a busca foram usados os operadores booleanos *AND* e *OR* nas quatro bases de dados. A abrangência temporal da revisão foi definida a partir de 1992, quando tiveram início as atividades na área de energia fotovoltaica no Brasil, a cargo do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL/Eletronbras).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante do interesse precípuo de conhecer os estudos com foco em motivação e decisão de consumidores fotovoltaicos residenciais no Brasil, foram excluídos os artigos eminentemente técnicos ou que versavam sobre outras fontes de energia e incluídos os artigos relacionados a experiências brasileiras (reais e simuladas), que abordam particularidades do mercado nacional fotovoltaico, em que os consumidores estão envolvidos. É relevante destacar que não foram encontrados artigos específicos sobre decisões e motivações dos consumidores brasileiros, em nenhuma das bases de dados.

A busca empreendida na *Science Direct* se destacou em relação às demais bases de dados em número de publicações. Numa primeira seleção foram eliminados os artigos repetidos e uma seleção posterior foi necessária para identificar os estudos convergentes com o foco pretendido (consumidores fotovoltaicos brasileiros) e os temas centrais da pesquisa (decisões e mo-

tivações). Como resultante desse refinamento foram identificados apenas 14 artigos no período considerado, de 25 anos. A Tabela 1 exibe a síntese quantitativa da pesquisa.

Nos estudos selecionados, foram destacadas as seguintes evidências e conclusões, cronologicamente ordenadas, que, direta ou indiretamente, dizem respeito aos consumidores fotovoltaicos brasileiros:

- há barreiras políticas, institucionais e regulatórias que impactam o fornecimento de energia elétrica a consumidores de baixa renda, em áreas rurais e urbanas do Brasil (GOLDEMBERG *et al.*, 2004);
- tecnologias fotovoltaicas integradas em fachadas de edifícios têm potencial de atender a demanda e fornecer o excesso de energia à rede elétrica pública durante 30% do ano, favorecendo consumidores de áreas urbanas (ORDENES *et al.*, 2007);

Tabela 1 – Publicações identificadas nas bases de dados.

	<i>Brazilian photovoltaic consumers AND decision of Brazilian photovoltaic consumers</i>				<i>Brazilian photovoltaic consumers AND motivation of Brazilian photovoltaic consumers</i>			
ARTIGOS	S	SD	AR	APA	S	SD	AR	APA
Encontrados	0	165	2	0	0	40	2	0
Repetidos	0	6	2	0	0	32	0	0
Únicos	0	159	0	0	0	8	2	0
Selecionados	0	7	0	0	0	0	0	0
	<i>Brazilian photovoltaic consumers OR decision of Brazilian photovoltaic consumers</i>				<i>Brazilian photovoltaic consumers OR motivation of Brazilian photovoltaic consumers</i>			
ARTIGOS	S	SD	AR	APA	S	SD	AR	APA
Encontrados	7	272	2	0	7	272	2	0
Repetidos	4	176	2	0	7	272	2	0
Únicos	3	96	0	0	0	0	0	0
Selecionados	2	5	0	0	0	0	0	0

S: Scopus; SD: Science Direct; AR: Annual Reviews; APA: American Psychological Association.

- uma avaliação do impacto da eletrificação rural no Brasil (dirigida a 23 mil domicílios ou propriedades rurais, de 2000 a 2004), constata a rápida mudança no perfil do consumo de energia e redução da pobreza energética (PEREIRA *et al.*, 2010);
- o relato da implantação do programa Luz para Todos (LPT), em localidades de baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), no estado de Minas Gerais, classifica o consumidor-alvo como residencial de baixa renda, segundo a Resolução ANEEL nº 456, sendo trabalhador rural o que desenvolve agricultura para subsistência, com renda familiar de, até, dois salários mínimos (DINIZ *et al.*, 2011);
- a tendência de paridade nos valores, fruto da queda nos custos de energia fotovoltaica e o aumento dos preços da eletricidade convencional, pode favorecer as populações urbanas brasileiras, enquanto a disponibilidade de matérias-primas (silício e eletricidade limpa) pode tornar o Brasil um importante *player*, sendo necessária uma política que incentive e sustente a adoção fotovoltaica (RÜTHER & ZILLES, 2011);
- uma revisão diagnóstica sobre a penetração das tecnologias solar e eólica apontou a necessidade de um preço referencial, de investimento em conscientização pública, na construção de infraestruturas e no conhecimento tecnológico, além da melhoria em regulamentos e incentivos para atrair os consumidores (MARTINS & PEREIRA, 2011);
- uma avaliação das consequências da eletrificação rural no nordeste pobre do Brasil demonstra que o consumo de eletricidade se traduz em benefícios sociais imediatos para as famílias, embora o estudo não tenha verificado ligação direta entre o uso de eletricidade e a geração de renda em curto prazo, mas o bem-estar a longo prazo demanda estratégias mais amplas de desenvolvimento rural (OBERMAIER *et al.*, 2012);
- a eletrificação de duas comunidades ribeirinhas da Reserva Mamirauá, na Amazônia (por *Solar Home Systems* – SHS e por extensão de rede) gerou impactos residenciais positivos, mas os consumidores atendidos pela rede tiveram maior benefício em suas atividades produtivas, em função da maior oferta de eletricidade (VALER *et al.*, 2014);
- a iniciativa LPT, em áreas remotas da Amazônia brasileira, apresenta desafios relacionados às estruturas institucionais, tecnológicas e de financiamento, requer regras para orientar a relação da comunidade com os novos agentes, tecnologias para geração de pequena escala com recursos locais, subsídios otimizados e soluções eficazes fora da rede (GÓMEZ & SILVEIRA, 2015; GÓMEZ *et al.*, 2015);
- a avaliação do potencial fotovoltaico em telhados no setor residencial revela a viabilidade tecnológica para as áreas urbanas e rurais e projeção de elevado crescimento da tecnologia fotovoltaica, sobretudo na região sudeste, onde foi estimada a concentração de 52% da rede instalada em 2026 (MIRANDA *et al.*, 2015);
- na modelagem que analisa o impacto das unidades de geração fotovoltaica na rede de distribuição de Armação dos Búzios, no Rio de Janeiro, não foram observados impactos técnicos, mas o estudo destacou a importância de incentivos diretos para a expansão do mercado fotovoltaico domiciliar (SOUZA *et al.*, 2016);
- o sistema de gerenciamento de energia fotovoltaica, que possibilita aos consumidores simular seu gasto e reeducar seus hábitos, pode resultar em relevante economia para o sistema interligado nacional (TAKIGAWA *et al.*, 2016);
- na estrutura de distribuição, a relação com o consumidor residencial torna-se técnica e comercialmente suscetível, sendo necessários esforços de regulação e de mercado para ampliar eficazmente a cogeração e potencializar a energia fotovoltaica (CAMILO *et al.*, 2017).

Desses estudos, é possível depreender o seguinte panorama:

- os consumidores de áreas urbanas podem se beneficiar com o reconhecido potencial fotovoltaico em telhados residenciais, em fachadas de edifícios e com a aguardada paridade nos valores das energias fotovoltaica e convencional (MIRANDA *et al.*, 2015; ORDENES *et al.*, 2007; RÜTHER & ZILLES, 2011);
- a eletrificação de áreas rurais trouxe benefícios imediatos às famílias, com mudança no perfil do consumo e redução da pobreza energética, favorecendo brasileiros de baixa e baixíssima renda (OBERMAIER *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2010; DINIZ *et al.*, 2011; VALER *et al.*, 2014);

- as seguintes questões demandam reversão ou melhorias significativas: barreiras políticas, institucionais e regulatórias, necessidade de um preço referencial, investimento em conscientização pública, construção de infraestruturas e no conhecimento tecnológico, financiamentos, subsídios otimizados e incentivos diretos (GOLDEMBERG *et al.*, 2004; MARTINS & PEREIRA, 2011; GÓMEZ & SILVEIRA, 2015; GÓMEZ *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2016; CAMILO *et al.*, 2017);
- as projeções são auspiciosas: o Brasil pode se tornar um importante *player* pela disponibilidade de matérias-primas, é aguardado relevante crescimento da tecnologia fotovoltaica, em especial na região sudeste, e o sistema interligado nacional pode se favorecer com o gerenciamento do gasto energético pelo consumidor fotovoltaico (RÜTHER & ZILLES, 2011; MIRANDA *et al.*, 2015; TAKIGAWA *et al.*, 2016).

CONCLUSÃO

As revisões narrativa e sistemática utilizadas atenderam ao objetivo proposto neste estudo. Na revisão narrativa, a literatura consultada parece sintetizar os rumos mais adequados para equacionar o desafio da energia no mundo e no Brasil. O consumo consciente, apoiado em soluções tecnológicas ou simples mudanças de hábito, e o incremento da oferta de energia limpa atendem a estratégia de descarbonização, necessária para atenuar a pressão sobre o meio ambiente até que se atinja a neutralidade climática. Em oposição, considerando as informações técnicas e as estatísticas mencionadas neste estudo, fica evidente o contraste entre os avanços das energias renováveis e a opção por energias fósseis. Essa questão encerra, também, o paradoxo de que a suposta complexidade das tecnologias de geração limpas não justifica o retardo no seu desenvolvimento, já que as energias fósseis, extremamente complexas, foram amplamente desenvolvidas no mundo.

A literatura evidencia a importância de leis e programas governamentais para que os consumidores adotem energias não convencionais. A energia fotovoltaica no Brasil, a despeito de sua comprovada viabilidade, é influenciada por conflitos de interesse e pela ausência de uma política de diversificação da matriz energética, que amplie a participação das energias limpas e reno-

váveis. Na verdade, a presença da energia solar sequer é percebida no contexto nacional, o que é corroborado na revisão sistemática pela ausência de estudos específicos sobre os consumidores fotovoltaicos, um dos principais atores sociais desse processo. Os estudos que integraram esta revisão revelam aspectos da realidade econômica, política, tecnológica e sociocultural da energia solar, mas não foram localizados artigos sobre os temas decisão e motivação, uma lacuna importante se considerarmos que a estratégia de expansão da alternativa fotovoltaica, por meio da microgeração e minigeração, da geração distribuída e geração compartilhada, está pautada nos consumidores fotovoltaicos que são potenciais investidores.

No conjunto dos estudos selecionados, ficou registrada a viabilidade da geração distribuída (de áreas rurais remotas às superfícies verticais de áreas urbanas) e foi possível depreender a possibilidade de expansão da energia fotovoltaica no tórrido território brasileiro, favorecendo consumidores de diferentes perfis socioeconômicos. Dentre as importantes lacunas e fragilidades que impactam a expansão do mercado fotovoltaico, cabe destacar a indispensável conscientização dos atores sociais e a necessidade de aprimorar a política de incentivos para atrair novos consumidores.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil? *Novos Estudos*, 2010.
- _____. Inovações para que se democratize o acesso à energia, sem ampliar as emissões. *Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 1-18, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. Brasília: ANEEL, 2012.

_____. *Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015*. Brasília: ANEEL, 2015.

_____. *Capacidade instalada no Brasil*. Banco de Informações de Geração – BIG. Brasília: ANEEL, 2016a.

_____. *Universalização: Legislação*. Brasília: ANEEL, 2016b.

BARBOSA, S. M. K. *A competitividade das fontes energéticas em uma abordagem de learning curves: uma proposição de regulação que incentive as tecnologias renováveis*. 300 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e Sociedade*, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Brasil lança programa de geração distribuída com destaque para energia solar*. Brasil: MME, 2015.

BRITISH PETROLEUM (BP). *BP Energy Outlook to 2035*. 2016.

CAMILO, H. F.; MORALES, M. E.; GIMENES, A. L. V.; GRIMONI, J. A. B. Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, p. 712-719, 2017.

CAVALCANTI, C. Pensamento socioambiental e a economia ecológica: nova perspectiva para pensar a sociedade. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 35, 2015.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). *Energia solar: princípios e aplicações*. Tutorial Solar. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006.

CHU, S.; GOLDEMBERG, J. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*. São Paulo: FAPESP, 2010.

CHU, S.; MAJUMDAR, A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, v. 488, 2012.

DINIZ, A. S. A. C.; MACHADO NETO, L. V. B.; CAMARA, C. F.; MORAIS, P.; CABRAL, C. V. T.; OLIVEIRA FILHO, D.; RAVINETTI, R. F.; FRANÇA, E. D.; CASSINI, D. A.; SOUZA, M. E. M.; SANTOS, J. H.; AMORIM, M. Review of the Photovoltaic Energy Program in the State of Minas Gerais, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2696-2706, 2011.

DUARTE, J. P. A. *Impacto da produção eólica na fiabilidade do sistema de produção*. 83 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2017: Relatório Síntese*. Ano-base 2016 – Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

_____. *Demanda de energia 2050: Nota Técnica DEA 13/14*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EXXONMOBIL. *Panorama Energético: Perspectivas para 2040*. Texas: Exxonmobil, 2014.

FAIERS, A.; NEAME, C. Consumer attitudes towards domestic solar power systems. *Energy Policy*, v. 34, p. 1797-1806, 2006.

GOLDEMBERG, J.; LA ROVERE, E. L.; COELHO, S. T. Expanding access to electricity in Brazil. *Energy for Sustainable Development*, v. 8, n. 4, p. 86-94, 2004.

- GOMES, I. S.; CAMINHA, I. de O. Guia para estudos de revisão sistemática: uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano. *Movimento*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 395-411, 2014.
- GÓMEZ, M. F.; SILVEIRA, S. The last mile in the Brazilian Amazon – A potential pathway for universal electricity access. *Energy Policy*, v. 82, p. 23-37, 2015.
- GÓMEZ, M. F.; TÉLLEZ, A.; SILVEIRA, S. Exploring the effect of subsidies on small-scale renewable energy solutions in the Brazilian Amazon. *Renewable Energy*, v. 83, p. 1200-1214, 2015.
- GREENPEACE. *Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo*. São Paulo: Greenpeace, 2010.
- _____. *Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo*. São Paulo: Greenpeace, 2013.
- _____. *Revolução energética: perspectivas para uma energia global sustentável*. São Paulo: Greenpeace Brasil, 2007.
- GUERRA, J. B. S. O. de A.; YOUSSEF, Y. A. (Orgs.). *O legado do Projeto Jelare e as energias renováveis*. Palhoça: Unisul, 2012.
- GUIMARÃES, L. dos S. A geopolítica da energia de baixo carbono. *FGV Energia*, 2016.
- LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 23, n. 65, 2009.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. *Energy Policy*, v. 39, p. 4378-4390, 2011.
- MELO, C. A. de; JANNUZZI, G. de M.; BAJAY, S. V. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: lessons to learn from the German experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 61, p. 222-234, 2016.
- MIRANDA, R. F. C.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. Technical-economic potential of PV Systems on Brazilian Rooftops. *Renewable Energy*, v. 75, p. 694-713, 2015.
- NOBRE, A. D. *O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica*. São José dos Campos: ARA/CCST-INPE/INPA, 2014.
- OBERMAIER, M.; ROSA, L. P. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 27, n. 78, p. 155-176, 2013.
- OBERMAIER, M.; SZKLO, A.; LA ROVERE, E. L.; ROSA, L. P. An assessment of electricity and income distributional trends following rural electrification in poor northeast Brazil. *Energy Policy*, v. 49, p. 531-540, 2012.
- ONU. *Conferências das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 21)*. Paris, 2015.
- ONU BRASIL. *Acordo de Paris sobre o clima: adoção do Acordo de Paris*. Brasil, 2017.
- _____. *Novo estudo da ONU indica que mundo terá 11 bilhões de habitantes em 2100*. Brasil, 2015.
- ORDENES, M.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RÜTHER, R. The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. *Energy and Buildings*, v. 39, p. 629-642, 2007.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos: INPE, 2006.
- PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F. da. Rural electrification and energy poverty: empirical evidences from Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 4, p. 1229-1240, 2010.
- PORTAL BRASIL. *Aneel registra mais de 7,6 mil conexões de geração distribuída*. Brasil, 2017.

PORTAL BRASIL. *Litoral brasileiro tem 7,4 mil km de belezas naturais*. Brasil, 2015a.

_____. *Programa Luz para todos é prorrogado até 2018*. Brasil, 2015b.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). *Mude o hábito: um guia da ONU para a neutralidade climática*. Redator: Alex Kirby. Noruega: GRID-Arendal, 2009.

RENNER, M.; PRUGH, T. *Estado do Mundo 2014: como governar em nome da sustentabilidade*. Salvador: Uma, 2014.

ROGERS, E. M. *Diffusion of innovations*. 4. ed. Nova York: Free Press, 1995.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. *Energy Policy*, v. 39, n. 3, p. 1027-1030, 2011.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.

_____. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 55, p. 195-214, 2005.

SARASA-MAESTRO, C. J.; DUFO-LÓPEZ, R.; BERNAL-AGUSTÍN, J. L. Analysis of Photovoltaic Self-Consumption Systems. *Energies*, v. 9, p. 681, 2016.

SILVA, N. F. *Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica*. 263 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOLARVOLT. Net Metering e Feed in: saiba o que são e como funcionam. *SolarVolt*, 2017.

SOUZA, M. I.; SOARES, M. C. B. B.; SILVA, M. R. Modeling distributed PV market and its impacts on distribution system: a brazilian case study. *IEEE Latin America Transactions*, v. 14, n. 11, p. 4520-4526, 2016.

TAKIGAWA, F. Y. K.; FERNANDES, R. C.; NETO, E. A. C. A.; TENFEN, D.; SICA, E. T. Energy management by the consumer with photovoltaic generation: brazilian market. *IEEE Latin America Transactions*, v. 14, n. 5, p. 2226-2232, 2016.

TIMILSINA, R.; LEFEVRE, T.; SHRESTHA, S. Financing solar thermal technologies under DSM programs; an innovative approach to promote renewable energy. *International Journal of Energy Research*, v. 24, p. 503-510, 2000.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012.

VALER, L. R.; MOCELIN, A.; ZILLES, R.; MOURA, E.; NASCIMENTO, A. C. S. Assessment of socioeconomic impacts of access to electricity in Brazilian Amazon: case study in two communities in Mamirauá Reserve. *Energy for Sustainable Development*, v. 20, p. 58-65, 2014.

WORLD ENERGY COUNCIL. *Survey of Energy Resources: Solar*. 2013.

ZANETI, I. C. B. B.; SÁ, L. M.; ALMEIDA, V. G. Insustentabilidade e produção de resíduos: a face oculta do sistema do capital. *Sociedade e Estado*, Brasília, v. 24, n. 1, 2009.

