

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE MATA CILIAR: UMA ANÁLISE INTEGRADA DE PARÂMETROS BOTÂNICOS, METEOROLÓGICOS E DA GENOTOXICIDADE DO AR ATMOSFÉRICO

RIPARIAN FOREST ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS: AN INTEGRATED ANALYSIS OF BOTANICAL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS AS WELL AS ATMOSPHERIC AIR GENOTOXICITY

Ledyane Rocha-Uriartt

Bióloga, Doutora em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS, Brasil. ledyane@gmail.com

Mara Betânia B. Cassanego

Bióloga, Doutora em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale. maxyuri@terra.com.br

Diego Fedrizzi Petry Becker

Biólogo, Mestre em Qualidade Ambiental, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale. biologo.diego@yahoo.com.br

Annette Droste

Bióloga, Doutora em Genética e Biologia Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professora titular do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale. annette@feevale.br

Jairo Lizandro Schmitt

Biólogo, Doutor em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professor titular do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. jairols@feevale.br

RESUMO

O diagnóstico ambiental de três fragmentos de mata ciliar nos trechos superior (CA), médio (TA) e inferior (CB) do Rio dos Sinos, no sul do Brasil, foi realizado a partir de uma análise integrada de parâmetros botânicos, meteorológicos e da genotoxicidade do ar atmosférico. A análise demonstrou que em CA a mata ciliar apresentou um maior número de árvores, mais altas, com maior área basal, suportando uma riqueza epifítica maior. Além disso, a genotoxicidade do ar e o volume de precipitação de chuva foram superiores a TA e CB. Considerando que as respostas dos organismos são influenciadas pelas condições ambientais, os indicadores analisados sustentam a ideia de que a mata ciliar de CA ainda é uma área de referência, evidenciada principalmente pela elevada riqueza de epífitos vasculares incluindo espécies sensíveis às perturbações antrópicas, e pela ausência de risco genotóxico.

PALAVRAS-CHAVE: epífitos; potencial genotóxico; precipitação

ABSTRACT

The environmental assessment of three riparian forest fragments in the upper (CA), medium (TA) and lower (CB) sections of the Sinos River, in the southern part of Brazil was carried out by applying an integrated analysis of botanical and meteorological parameters as well as the atmospheric air genotoxicity. The analysis showed that the riparian forest at CA site had a greater number of trees that were taller, occupying a more basal area, supporting a higher epiphytic richness. Moreover, the air genotoxicity and the amount of rainfall were higher than at TA and CB sites. Considering that the organism responses are influenced by environmental conditions, the indicators analyzed supported the idea that the riparian forest at CA site is still a reference area, especially evidenced by the high richness of vascular epiphytes, including species susceptible to human disturbance and by the absence of genotoxic risk.

KEYWORDS: epiphytes; genotoxic potential; rainfall.

INTRODUÇÃO

As matas ciliares compreendem a vegetação que se forma naturalmente às margens dos rios, tendo como principal função a proteção do curso d'água, da biodiversidade e do solo (GREGORY *et al.*, 1991; OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1995; MUELLER, 1996). De acordo com estudos florísticos, as matas ciliares apresentam heterogeneidade na composição e estrutura comunitária das plantas (RIBEIRO-FILHO *et al.*, 2009). Essa heterogeneidade é resultado da interação entre fatores físicos e biológicos (RODRIGUES e NAVE, 2000).

As espécies epifíticas encontram naturalmente condições favoráveis para o seu desenvolvimento nas matas ciliares. O epifitismo consiste na interação harmônica entre duas espécies, na qual o epífito utiliza a planta hospedeira apenas como suporte. Os epífitos interagem diretamente com a atmosfera, retirando dela as substâncias das quais necessitam (BENNET, 1986; KRESS, 1986; WALLACE, 1989). Por isso, os epífitos apresentam crescimento lento (ZOTZ, 1995) e se beneficiam de um ambiente florestal íntegro para o seu desenvolvimento, sendo que a riqueza epifítica tem relação inversa à degradação da vegetação (JOHANSSON, 1989) e à redução da temperatura e precipitação (NIEDER *et al.*, 1996-1997; GIONGO e WAECHTER, 2004).

Assim como as plantas naturalmente ocorrentes podem responder às condições abióticas de um dado ambiente, sendo utilizadas como bioindicadoras passivas, indivíduos de espécies reconhecidamente indicadoras podem ser expostos por curtos períodos ao ar e, por meio de suas respostas, fornece importantes informações relativas aos efeitos da poluição atmosférica sobre os organismos (MARKERT, 2007). *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom é utilizada em avaliações integradas da qualidade ambiental (MERLO *et al.*, 2011; KIELING-RUBIO *et al.*, 2015) como indicadora de genotoxicidade do ar atmosférico. Durante o processo meiótico para a formação das células-mãe dos grãos de pólen, micronúcleos podem ser formados (MA, 1983) e são resultantes de quebras ou perdas cromossômicas provocadas pela exposição das plantas a agentes clastogênicos ou aneugênicos (MA *et al.*, 1994).

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, localizada na região nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil, encontra-se dividida nos trechos superior, médio e inferior, nos quais se observa um aumento na densidade populacional e das atividades industriais, bem como uma diminuição na cobertura florestal no sentido da nascente à foz (PROSINOS, 2014). O estudo dos impactos das atividades humanas pode revelar a ocorrência de gradientes ambientais de antropização sobre os ecossistemas naturais. A avaliação da qualidade ambiental exige métodos e instrumentos eficientes (RODRIGUES e CASTRO, 2008) que permitam uma análise conjunta de diferentes variáveis do ambiente, bem como das respostas dos organismos às condições ambientais. Na Bacia do Rio dos Sinos, Kieling-Rubio *et al.* (2015) realizaram um diagnóstico do cenário ambiental junto às nascentes de arroios, integrando parâmetros físico-químicos com bioensaios de genotoxicidade para avaliação da qualidade da água, e um protocolo de avaliação rápida para estimar o grau de conservação do ambiente.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental de fragmentos de mata ciliar do Rio dos Sinos a partir de parâmetros botânicos, meteorológicos e genéticos, testando a hipótese de que a riqueza de epífitos vasculares é maior no ambiente em que ocorre maior pluviosidade, onde o dossel florestal é mais fechado e a genotoxicidade do ar é menor.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos apresenta uma área de 3.820 km², distribuídos em 32 municípios, com uma população aproximada de 1.343.558 habitantes. Desse total, 94% residem em áreas urbanas, enquanto que 6% em áreas rurais (IBGE, 2015). Aproximadamente 20% da frota veicular do Estado pertence a esta região (DENATRAN, 2013), além de apresentar uma grande concentração de indústrias e uma série de impactos ambientais de origem antrópica, decorrentes dos intensos processos de urbanização (FIGUEIREDO *et al.*, 2010).

O presente estudo foi realizado em três fragmentos de mata ciliar do Rio dos Sinos, doravante denominados de sítios. O sítio 1 se encontra no trecho superior do rio, no município de Caraá (29°42'25,0"S e 50°17'27,8"O, 560 m alt.). Ele possui mais de 50 m de largura e está situado no local das principais nascentes do Rio dos Sinos, em uma região de encosta, com relevo acidentado. O sítio 2 se encontra no trecho médio do rio, no município de Taquara (29°40'46,8"S e 50°45'57,0"O, 57 m alt.). A distância entre os sítios 1 e 2 é de 37,4 km. O sítio 3 localiza-se em Campo Bom (29°40'54"S e 51°3'35"O, 29 m alt.), no trecho inferior do Rio dos Sinos. Os sítios 2 e 3 apresentam largura inferior a 30 m e a distância entre eles é de 26,8 km.

Em cada sítio, foi aplicado o protocolo de avaliação rápida da qualidade de habitats (PARH) adaptado de Environmental Protection Agency (EPA, 1987), Barbour *et al.* (1999) e Callisto *et al.* (2002). Foram analisados 16 parâmetros a partir de observações visuais: 1: tipo de ocupação das margens; 2: erosão nas margens e assoreamento do rio; 3: alterações antrópicas; 4: cobertura vegetal sobre a calha do rio; 5: odor da água e sedimento; 6: oleosidade da água e sedimento; 7: transparência da água; 8: tipo de fundo (composição); 9: tipo de fundo (diversificação); 10: extensão e frequência de rápidos; 11: tipo de substrato; 12: depósitos sedimentares; 13: alterações no canal do rio; 14: características do fluxo das águas; 15: estabilidade das margens; 16: extensão de mata ciliar. Após a aplicação do protocolo, foi realizado o somatório dos pontos de cada parâmetro, os quais foram convertidos para a escala proposta por Callisto *et al.* (2002) em que os valores obtidos representam: de 0 a 40 pontos – trecho impactado; de 41 a 60 pontos – trecho alterado; de 61 a 100 pontos – trecho natural.

Para a caracterização meteorológica, foi instalada em Caraá uma estação meteorológica móvel (Davis Vantage PRO 2 VP USB NS) próxima ao sítio. Em Taquara, os dados meteorológicos foram obtidos a partir da estação WS2812, instalada no campus das Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT, 2014) e em Campo Bom, por meio da estação automática mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014). Durante 24 meses, de abril de 2012 a março de 2014, foram obtidos dados de temperatura e precipitação dos três locais para o cálculo da temperatura média e precipitação acumulada no biênio.

Para a análise de parâmetros vegetacionais em cada sítio, foi traçado um transecto de 200 m paralelo ao rio e distante até 10 m do curso d'água. Foi estabelecido um ponto amostral a cada 20 m, totalizando 10 unidades amostrais por sítio. Por ponto amostral, foram selecionadas quatro árvores com diâmetro à altura do peito (DAP), mínimo de 10 cm, por meio do método de quadrantes centrados (COTTAM e CURTIS, 1956). Em torno de cada árvore, foi estabelecido um raio de 5 m, no qual foi contabilizado o número de outros indivíduos arbóreos (densidade) com DAP maior que 5 cm. O DAP e a altura desses indivíduos foram obtidos para o cálculo da área basal e altura média da vegetação de cada ponto amostral.

O levantamento das espécies epifíticas ocorrentes nas quatro árvores foi realizado para a obtenção da riqueza total. Foram atribuídas notas de cobertura para cada espécie de acordo com o tamanho e a abundância (KERSTEN e WAECHTER, 2011). Elas foram somadas para a obtenção da cobertura total por espécie em cada ponto amostral, considerando os 120 forófitos nas 30 unidades amostrais ao longo do Rio dos Sinos.

Para a análise do percentual de abertura do dossel em cada ponto amostral, foram tomadas fotos hemisféricas. As fotos foram obtidas com o auxílio da câmera fotográfica Sony modelo H5, acoplada à lente olho de peixe Raynox Digital, modelo DCR-CF 85 Pro, apoiada em um tripé, com cerca de 1,5 m de altura. A câmera foi nivelada e posicionada para o norte, conforme recomenda Garcia *et al.* (2007). Para a obtenção do grau de abertura, as imagens foram analisadas no programa GAP Light Analyzer, versão 2.0

(FRAZER *et al.*, 1999), calibrado conforme a altitude e coordenadas geográficas de cada local.

Para a avaliação da genotoxicidade do ar, plantas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivadas em vasos plásticos (37 cm x 20 cm x 20 cm), contendo 4 kg de solo comercial de um mesmo lote e mantidas em ambiente externo no campus da universidade. As plantas foram regadas três vezes por semana, e mensalmente foram aplicados 100 mL de solução de fertilizante N-P-K (nitrogênio-fósforo-potássio) na proporção de 10-10-10 (v-v-v), seguindo o método descrito por Thewes *et al.* (2011). Todos os exemplares derivaram de propagação vegetativa a partir de uma mesma população. Os bioensaios foram realizados bimensalmente, de maio de 2013 a março de 2014, segundo metodologia descrita por Ma *et al.* (1994), com adaptações (CASSANEGO *et al.*, 2014). Para cada exposição, 20 ramos (10 a 15 cm de comprimento) com botões florais foram coletados e imersos parcialmente em recipientes com 2 L de água destilada, permanecendo por 24 h para adaptação em sala climatizada, com temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Após, os recipientes com os ramos foram acondicionados em caixas térmicas e transportados até os sítios, onde foram expostos por um período de 8 h (9 às 17 h) na mata, a uma distância de 10 m do rio. Posteriormente, em sala climatizada, os ramos foram recuperados em água destilada por mais 24 h, tempo necessário para completar a meiose e permitir a observação de micronúcleos nas tétrades. Controles negativos foram realizados simultaneamente, com exposição dos ramos em sala climatizada no laboratório, seguindo a mesma metodologia. Após, os botões florais foram fixados em etanol: ácido acético (3:1 v:v) por 24 h e armazenados

em etanol 70% a 4°C . O preparo das lâminas microscópicas e a análise dos micronúcleos (MCN) em tétrades foi realizado de acordo com Thewes *et al.* (2011). Em cada lâmina foram contadas 300 tétrades e registrado o número de MCN, em um total de 10 lâminas por sítio em cada período amostrado, sob microscopia óptica em aumento de 400x (Olympus CX4). As frequências de micronúcleos foram expressas em MCN/100 tétrades (THEWES *et al.*, 2011).

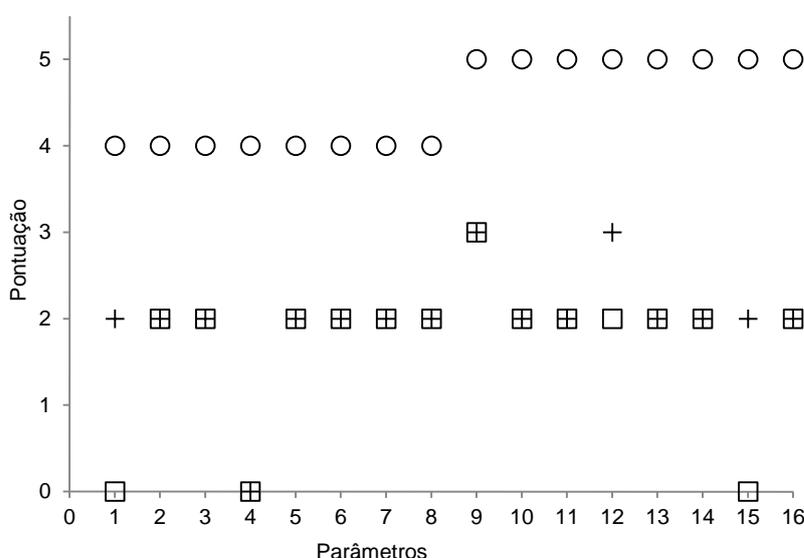
A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os dados de riqueza de epífitos vasculares, densidade, área basal, altura da vegetação, grau de abertura e variáveis climáticas de cada sítio não atenderam ao pressuposto de normalidade e foram comparados estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn a 5% de probabilidade no programa Statistica, versão 10.0. As frequências de MCN apresentaram distribuição normal e foram submetidas à análise de variância (ANOVA). Diferenças entre médias foram verificadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa SPSS, versão 20.

Para verificar se existe variação na distribuição de espécies epifíticas que estariam relacionadas com parâmetros botânicos (estrutura da vegetação arbórea) e ambientais (meteorológicos e potencial genotóxico do ar), foi realizada uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) no Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (PAST), versão 3.02 (HAMMER *et al.*, 2001). Foram incluídas na ordenação as espécies de epífitos vasculares com nota de cobertura total (NCT) superior a 100 considerando os 120 forófitos.

RESULTADOS

O resultado da avaliação dos 16 parâmetros do PARH classificou os fragmentos de mata ciliar de Caraá, Taquara e Campo Bom em, respectivamente, natural, alterado e impactado. Foi frequente a presença de depósitos de resíduos sólidos nas matas ciliares dos sítios de Taquara e Campo Bom, onde as margens do rio apresentaram-se instáveis e mais propensas à erosão (Figura 1).

Figura 1 - Pontuações no protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats aplicado nos trechos superior (Caraá: ○), médio (Taquara:



+) e inferior (Campo Bom: □) do Rio dos Sinos. Parâmetros 1 – 8: pontuação máxima (4: situação natural), intermediária (2: alteração leve) e mínima: (0: alteração severa); parâmetros 9 – 16: pontuação máxima (5: situação natural), intermediária (3: alteração leve; 2: alteração mediana) e mínima (0: alteração severa).

Considerando os 24 meses de monitoramento meteorológico, julho de 2012 e janeiro de 2014 foram, respectivamente, os meses mais frio e quente nos três municípios. Em Caraá, a temperatura variou de 13,0 a 24,6 °C, em Taquara de 14,4 a 27,4 °C e em Campo Bom de 12,8 a 26,5 °C. Para Caraá, Taquara e Campo Bom, a temperatura média do primeiro ano de monitoramento foi, respectivamente, de 18,9; 21,2 e 19,8 °C. No segundo ano, foram registradas as temperaturas de 21,2; 23,0 e 23,2 °C nos três municípios. A temperatura média do biênio foi estatisticamente equivalente entre os sítios ($H = 3,4$; $P = 0,2$), sendo $18,9 \pm 3,5$ °C em Caraá, $20,9 \pm 3,9$ °C em Taquara e $19,6 \pm 4,5$ °C em Campo Bom.

A precipitação mínima ocorreu durante o mês de novembro de 2012 em Caraá e Campo Bom (69,9 e 22 mm, respectivamente) e em junho de 2012 em Taquara (9,9 mm). Durante agosto de 2013, foram registrados os maiores valores para a precipitação nos três municípios (Caraá: 698,8 mm; Taquara: 400,3 mm e Campo Bom: 370,3 mm). A menor precipitação acumulada foi observada no primeiro ano de monitoramento (Caraá: 2.406,4 mm; Taquara: 1.280,1 mm e Campo Bom: 1.585,3 mm) e a maior, no segundo ano (Caraá: 2.673,06 mm; Taquara: 1.453,9 mm e Campo Bom: 2.047,8 mm). A precipitação acumulada durante os 24 meses foi significativamente maior ($H = 18,8$; $P < 0,01$) em Caraá (5.079,5 mm) quando comparada àquelas registradas em Taquara (2.734,0 mm) e Campo Bom (3.633,1 mm) (Figura 2).

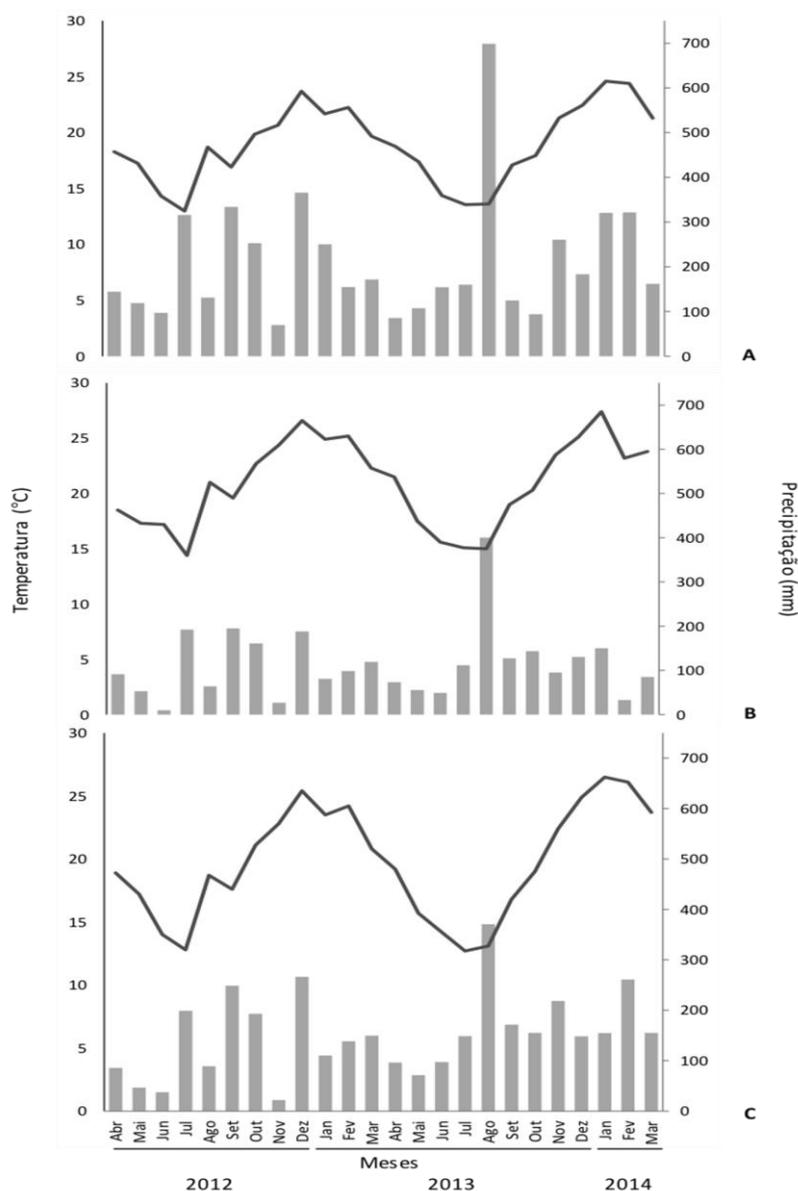


Figura 2 - Temperatura média e precipitação acumulada mensais no período de 24 meses nos municípios de Caraá (A), Taquara (B) e Campo Bom (C).

Foram inventariadas 74 espécies de epífitos vasculares em Caraá, 21 em Taquara e 20 em Campo Bom. Acompanhando a riqueza total, a média de epífitos por forófito foi significativamente maior ($H = 37,1$; $P < 0,01$) em Caraá ($11,8 \pm 11,7$ espécies forófito⁻¹), quando comparada aos outros sítios (Taquara: $4,8 \pm 3,3$ espécies forófito⁻¹; Campo Bom: $3,6 \pm 1,8$ espécies forófito⁻¹). As espécies que apresentaram as maiores notas de cobertura total, considerando os três sítios amostrais foram *Microgramma squamulosa* (Kaulf.) de la Sota (Nct: 398), *Vriesea incurvata* Gaudich. (Nct: 319), *Rhipsalis teres* (Vell.) Steud. (Nct: 305), *Pleopeltis pleopeltifolia* (Raddi) Alston (Nct: 239), *Aechmea calyculata* (E.Morren) Baker (Nct: 151) e *Niphidium crassifolium* (L.) Lellinger (Nct: 138).

Em Caraá, além de a vegetação ser mais rica em epífitos, foi registrada a árvore mais alta (31 m) e com o maior DAP (230,0 cm). Em Taquara, os valores de altura e DAP das árvores variaram de 2 a 12 m e de 5,0 a 70 cm; e em Campo Bom, de 3,5 a 5,8 m e de 5,0 a 48,5 cm. A densidade total de árvores foi de 377 em Caraá, 149 em Taquara e 108 em

Campo Bom. Em média, as árvores em Taquara ($7,2 \pm 1,1$ m) e em Campo Bom ($7,5 \pm 1,3$ m) foram significativamente menores em altura ($H = 16,7$; $P < 0,01$) quando comparadas com aquelas em Caraá ($9,0 \pm 1,6$ m). Também houve uma redução significativa da densidade de árvores ($H = 52,8$; $P < 0,01$) e da área basal da vegetação ($H = 49,6$; $P < 0,01$) em Taquara (densidade: $14,9 \pm 1,4$ ind⁻¹; área basal: $1,0 \pm 0,8$ m²) e em Campo Bom (densidade: $10,8 \pm 1,1$ ind⁻¹; área basal: $0,6 \pm 0,5$ m²) quando comparadas a Caraá (densidade: $37,7 \pm 5,5$ ind⁻¹; área basal: $2,6 \pm 1,9$ m²).

A abertura do dossel da mata ciliar variou de 10,4 a 18,6% em Caraá, enquanto que em Taquara de 19,7 a 32,5% e em Campo Bom de 17,1 a 21,8%. Em média, o percentual de abertura foi significativamente diferente entre os três sítios ($H = 45,9$; $P < 0,01$), sendo de $25,7 \pm 4,0\%$ em Taquara, de $18,90 \pm 1,90\%$ em Campo Bom e de $13,3 \pm 2,3\%$ em Caraá.

Botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos no interior dos fragmentos de mata ciliar de Taquara e Campo Bom apresentaram frequências de micronúcleos (MCN) significativamente superiores (2,70 a 3,17 e 2,80 a 3,47, respectivamente) às frequências observadas nos botões expostos em Caraá (1,67 a 1,87) e do controle negativo (1,43 a 1,80) em todos os períodos de amostragem. Para Caraá, as frequências de MCN foram estatisticamente iguais às do controle negativo, e para Taquara elas não diferiram significativamente daquelas para Campo Bom (Tabela 1).

Tabela 1 - Frequência de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* exposta aos fragmentos de mata ciliar do Rio dos Sinos nos municípios de Caraá, Taquara e Campo Bom e do controle negativo. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Exposições	Frequência de MCN (média \pm desvio padrão)				F	P
	Caraá	Taquara	Campo Bom	Controle		
Maio 2013	1,87 \pm 0,72b	3,07 \pm 0,52a	2,87 \pm 0,80a	1,53 \pm 0,52b	13,072	<0,001
Julho 2013	1,67 \pm 0,56b	2,77 \pm 0,65a	3,23 \pm 0,63a	1,43 \pm 0,32b	24,105	<0,001
Setembro 2013	1,73 \pm 0,52b	2,70 \pm 0,46a	3,27 \pm 0,70a	1,53 \pm 0,39b	24,904	<0,001
Novembro 2013	1,83 \pm 0,74b	3,13 \pm 0,63a	3,13 \pm 0,50a	1,70 \pm 0,33b	19,085	<0,001
Janeiro 2014	1,77 \pm 0,42b	3,17 \pm 0,50a	3,47 \pm 1,12a	1,70 \pm 0,37b	18,651	<0,001
Março 2014	1,77 \pm 0,39b	2,87 \pm 0,50a	2,80 \pm 0,48a	1,80 \pm 0,74b	12,526	<0,001
F	0,153	1,314	1,176	0,862		
P	0,978	0,272	0,333	0,513		

A análise ambiental integrada demonstrou a separação dos três sítios em decorrência da estrutura da vegetação arbórea e da flora epifítica, bem como dos fatores meteorológicos e da genotoxicidade do ar atmosférico. A ordenação explicou 88,9% da variação dos dados e demonstrou que onde a qualidade do ar atmosférico foi superior e choveu mais, a mata ciliar apresentou um maior número de árvores, mais altas com maior área basal, suportando uma maior riqueza epifítica. Essas características convergiram para as unidades amostrais de Caraá, onde as árvores estavam mais cobertas por *Aechmea calyculata*, *Niphidium crassifolium* e *Vriesea incurvata*. Em Taquara, onde a mata ciliar apresentou o dossel menos fechado e foram registradas temperaturas mais elevadas, *Pleopeltis pleopeltifolia* foi a espécie que cobriu mais as árvores. As unidades amostrais com maior grau de abertura do dossel apresentaram menor riqueza de epífitos vasculares, árvores mais baixas e de menor área basal. Em Campo Bom, houve uma maior cobertura dos forófitos por *Microgramma squamulosa* e *Rhizalis teres*. Nesses sítios houve uma simplificação da estrutura da vegetação e uma redução da precipitação e a genotoxicidade do ar atmosférico foi superior à registrada para o sítio em Caraá (Figura 3).

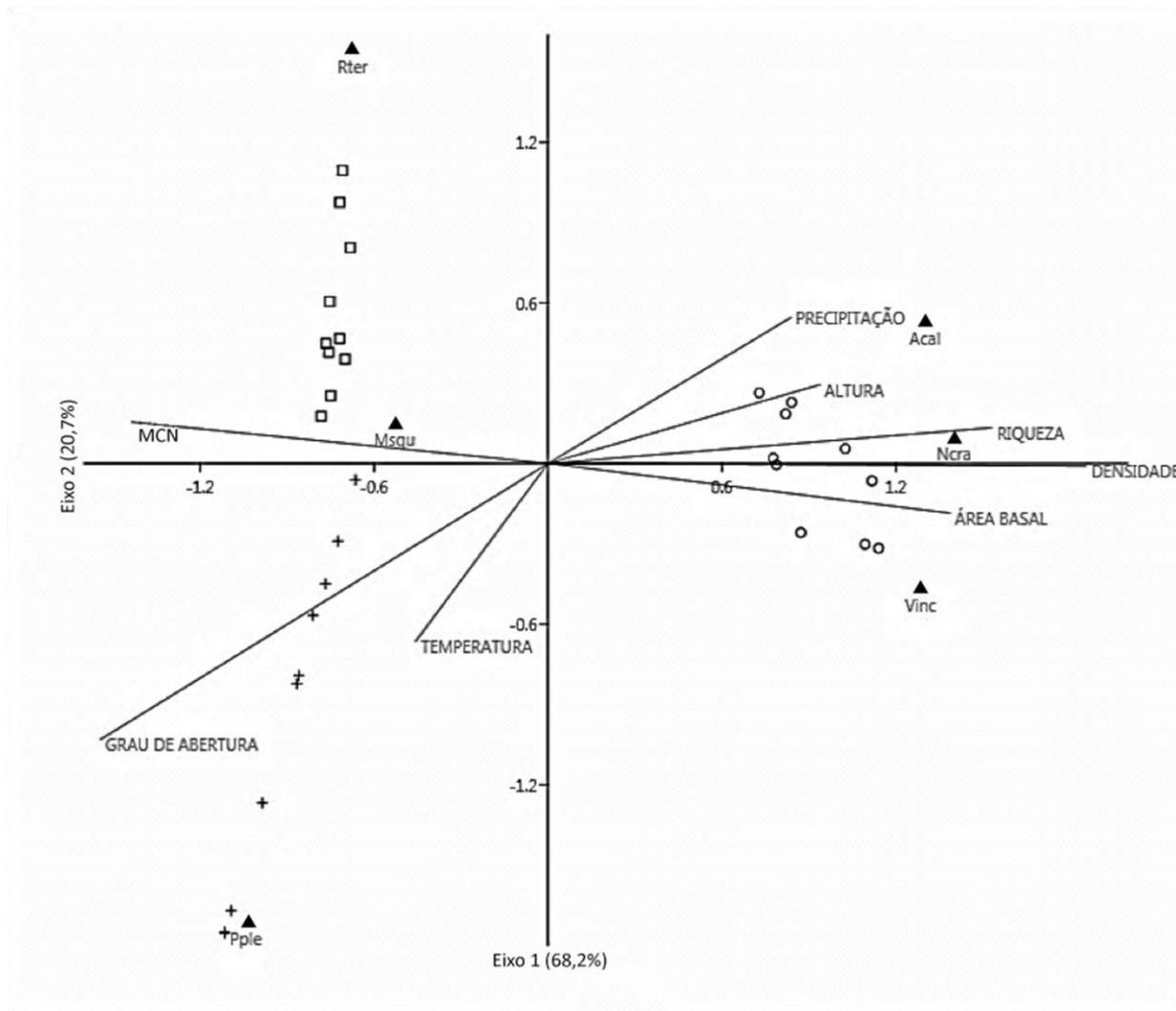


Figura 3 - Análise de Correspondência Canônica (CCA) das variáveis vegetacionais, meteorológicas, da genotoxicidade do ar atmosférico (MCN) e das espécies com as maiores notas de cobertura (▲) na estrutura comunitária nos trechos superior (Caraá: ○), médio (Taquara: +) e inferior (Campo Bom: □) do Rio dos Sinos. Ncra: *Niphidium crassifolium*; Vinc: *Vriesea incurvata*; Acal: *Aechmea calyculata*; Pple: *Pleopeltis pleopeltifolia*; Msqu: *Microgramma squamulosa*; Rter: *Rhipsalis teres*.

DISCUSSÃO

A avaliação da qualidade dos habitats é considerada fundamental para a análise da integridade ecológica, e as pontuações finais refletem o nível de conservação (BARBOUR *et al.*, 1999; CALLISTO *et al.*, 2002) decrescente dos trechos da bacia analisados, da nascente em direção à foz. Os impactos urbanos, principalmente o tipo de ocupação das margens e a devastação das matas ciliares, foram responsáveis pelas alterações mais graves nos trechos médio e inferior. No trecho inferior do rio, também foram observadas margens instáveis e o desenvolvimento de atividades industriais no entorno do fragmento, sendo esses os principais fatores que diferiram nos dois sítios.

A ausência de cobertura vegetal na calha do Rio dos Sinos, nos trechos médio e inferior, pode ser atribuída ao alargamento do rio, impedindo a comunicação entre as copas das árvores e aumentando a incidência luminosa diretamente no curso d'água. A remoção da vegetação ciliar aumenta a instabilidade das margens, levando a processos erosivos e assoreamento de rios, reduzindo a heterogeneidade de habitats aquáticos pela deposição de sedimento (BARRELLA *et al.*, 2000; MINATTI-FERREIRA e BEAUMORD, 2004).

A altura maior e a área basal da vegetação na nascente do Rio dos Sinos indicam que esse local apresenta uma vegetação mais antiga. Árvores maiores contribuem para o aumento da riqueza epifítica, uma vez que disponibilizaram maior tempo de colonização e mais micro-habitats para os epífitos (ANNASELVAM e PARTHASARATHY, 2001). A vegetação dos sítios de Taquara e Campo Bom foi menos densa, mais baixa e com menor área basal quando comparada à observada em Caraá. Esses valores evidenciaram que os sítios dos trechos médio e inferior encontram-se em estágio intermediário de sucessão, enquanto que a nascente está em estágio avançado, considerando os parâmetros determinados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2012).

A genotoxicidade do ar atmosférico nos fragmentos de mata ciliar de Taquara e Campo Bom foi revelada pelo bioensaio em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, considerando que as células dos botões florais expostos nesses sítios apresentaram um aumento significativo nas frequências de MCN, em comparação

com aquelas registradas para Caraá e o controle negativo. Por sua vez, as frequências de MCN observadas para Caraá e o controle permaneceram abaixo de 2,0 MCN, limite considerado aceitável para frequências resultantes de mutações espontâneas quando as plantas são mantidas em ambiente não poluído (KLUMPP *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013).

As espécies que mais cobriram as árvores nos trechos de maior antropização da bacia (*Pleopeltis pleopeltifolia*, *Microgramma squamulosa* e *Rhipsalis teres*) suportam um dossel mais aberto, colonizam árvores mais jovens e toleram um ar atmosférico com maior potencial genotóxico. Essas espécies estão incluídas em famílias que agregam plantas amplamente adaptadas ao déficit hídrico (COUTINHO, 1962; DUBUISSON *et al.*, 2009) e que colonizam o ambiente em estágio pioneiro de sucessão (BAUER e WAECHTER, 2011; BONNET, 2011), ressaltando o caráter secundário das matas de Taquara e Campo Bom.

A elevada ocorrência de *Pleopeltis pleopeltifolia* nas unidades amostrais com maior exposição à luz solar e menor precipitação pode ser justificada por sua capacidade de reduzir os danos causados pela incidência solar por meio da poiquiloidria (MORAN, 2008). Da mesma forma, *Microgramma squamulosa* possui adaptações para suportar déficit hídrico (ROCHA *et al.*, 2013), além de poluição atmosférica, respondendo de forma mensurável a diferenças na qualidade do ar (ROCHA *et al.*, 2014).

A cobertura das árvores na nascente do Rio dos Sinos diferiu dos demais trechos analisados, sendo que em Caraá houve uma maior ocorrência de *Aechmea calyculata*, *Vriesea incurvata* e *Niphidium crassifolium*. As duas primeiras espécies são consideradas bromélias-tanque, cuja ocorrência foi restrita ao ambiente classificado como natural e com maior precipitação de chuva. Assim como no presente estudo, outros trabalhos relacionaram a predominância dessas plantas em áreas pouco impactadas e com maior pluviosidade (KERSTEN e SILVA, 2001; BORGIO e SILVA, 2003; BONNET, 2011). Essas três espécies não foram registradas em 60 ha de

floresta secundária localizada próxima à nascente do Sinos (BARBOSA *et al.*, 2015).

O gradiente decrescente de riqueza epifítica acompanhou a redução da qualidade do hábitat e da quantidade de chuva. Na nascente, o bom estado de conservação ambiental e a elevação da precipitação de chuva coincidem com o aumento da riqueza epifítica, comumente observado em florestas tropicais (NIEDER *et al.*, 1996-1997).

As baixas frequências de MCN registradas para Caraá podem estar relacionadas ao elevado grau de conservação da vegetação, à maior largura da mata ciliar e à distância em relação às possíveis fontes que liberam poluentes para a atmosfera. Além disso, a baixa densidade demográfica e o menor tráfego veicular no município em comparação com Taquara e Campo Bom (IBGE, 2015) podem contribuir para uma qualidade do ar melhor em Caraá. Enquanto que a frota de Caraá conta com 2.484 veículos, Taquara e Campo Bom contam, respectivamente, com 30.494 e 36.930 veículos (IBGE, 2015). As frequências significativas de MCN encontradas nas plantas expostas nas matas

ciliares de Taquara e Campo Bom provavelmente estão relacionadas aos efeitos genotóxicos de poluentes atmosféricos, liberados principalmente pelo intenso tráfego veicular na região (TEIXEIRA *et al.*, 2012; IBGE, 2015), considerando-se a proximidade das áreas urbanas e a rodovias com alto fluxo veicular. Na rodovia estadual ERS 239, que passa pelo perímetro urbano dos municípios de Taquara e Campo Bom, a circulação veicular é de aproximadamente 668 mil veículos por mês (EGR, 2014). A rodovia federal BR 116, principal via de ligação entre os municípios do trecho inferior Bacia do Rio dos Sinos com a capital do Estado, Porto Alegre, também apresenta alto fluxo veicular com cerca de 150 mil veículos por dia (MIGLIAVACCA *et al.*, 2012), o que contribui para o aumento de poluentes potencialmente tóxicos ou genotóxicos no ar. A capacidade de dispersão e acumulação dos poluentes no ar atmosférico pode provocar efeitos negativos aos organismos até mesmo em fragmentos florestais (MERLO *et al.*, 2011), principalmente quando estes apresentam alto índice de degradação, como as matas ciliares dos trechos médio e inferior da Bacia do Rio dos Sinos.

CONCLUSÕES

O sítio classificado como natural apresentou as melhores condições vegetacionais, meteorológicas e de qualidade do ar atmosférico, sustentando uma maior riqueza epifítica. Além disso, foram registradas espécies sensíveis às perturbações antrópicas apenas nesse trecho da bacia, acentuando a necessidade de preservação da nascente do Rio dos Sinos.

Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a importância da avaliação integrada dos fatores bióticos e abióticos, considerando que as respostas dos organismos são influenciadas pelas condições prevalentes no ambiente. Embora a interpretação direta da integridade ecológica pelas variáveis ambientais e respostas dos seres vivos seja complexa, os indicadores utilizados para avaliação da qualidade ambiental permitiram apontar a mata ciliar de Caraá como uma área de referência, evidenciados pela riqueza de epífitos e pela ausência de genotoxicidade em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* neste fragmento florestal.

REFERÊNCIAS

- ANNASELVAM, J.; PARTHASARATHY, N. Diversity and distribution of herbaceous vascular epiphytes in a tropical evergreen forest at Varagalaiair, Western Ghats, India. **Biodiversity & Conservation**, v. 10, n. 3, p. 317-329, 2001.
- BARBOSA, M. D.; BECKER, D. F. P, CUNHA, S.; DROSTE, A.; SCHMITT, J. L. Vascular epiphytes of the Atlantic Forest in the Sinos River basin, state of Rio Grande do Sul, Brazil: richness, floristic composition and community structure. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 2 (Supl.), p. 25-35, 2015.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J. SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. **Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish**. 2. ed. Washington: Environmental Protection Agency, 1999. 344 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. **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p. 187-208.
- BAUER, D.; WAECHTER, J. L. Padrões geográficos de cactáceas epifíticas no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, v. 62, p. 239-251, 2011.
- BENNET, B. C. Patchiness, diversity, and abundance relationships of vascular epiphytes. **Selbyana**, v. 9, p. 70-75, 1986.
- BONNET, A. Flora epifítica vascular em três unidades vegetacionais do Rio Tibagi, Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 3, p. 491-498, 2011.
- BORGO, M., SILVA, S. M. Epífitos vasculares em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Curitiba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 391-401, 2003.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 34, p. 91-97, 2002.
- CASSANEGO, M. B. B.; COSTA, G. M.; SASAMORI, M. H.; ENDRES JÚNIOR, D.; PETRY, C. T.; DROSTE, A. The *Tradescantia pallida* var. *purpurea* active bioassay for water monitoring: evaluating and comparing methodological conditions. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 424-433, 2014.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA**: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: MMA, 2012. 1126 p.
- COTTAM, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, v. 37, n. 3, p. 451-460, 1956.
- COUTINHO, L. M. Contribuição ao Conhecimento da Ecologia da Mata Pluvial Tropical. Estudo do Balanço D'água de sua Vegetação. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, v. 18, p. 11-219, 1962.
- DENATRAN. **Ministério das Cidades, Departamento Nacional de Trânsito**, 2013. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>. Acesso em: 03 dezembro 2013.
- DUBUISSON, J. Y.; SCHNEIDER, H.; HENNEQUIN, S. Epiphytism in ferns: diversity and history. **Comptes Rendus Biologies**, v. 332, p. 120-128, 2009.
- EGR. **Empresa Gaúcha de Rodovias**, 2014. Disponível em: <http://www.egr.rs.gov.br/conteudo/1716/volume-de-trafeago>. Acesso em: 02 setembro 2014.

EPA (Environmental Protection Agency). **Biological criteria for the protection of aquatic life**. Division of Water Quality Monitoring Assessment. v. 1-III. Ohio: Columbus, 1987. 120 p.

FACCAT. **Estação WS2812, instalada no campus da FACCAT**, 2014. Disponível em: <http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IRIOGRAN17>. Acesso em: 09 abril 2014.

FIGUEIREDO, J. A. S.; DRUMM, E.; RODRIGUES, M. A. S.; SPILKI, F. R. The Rio dos Sinos watershed: an economic and social space and its interface with environmental status. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1131-1136, 2010

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.

GARCIA, L. C. REZENDE, M. Q.; PIMENTA, M. A.; MACHADO, R. M.; LEMOS-FILHO, J. P. de. Heterogeneidade do dossel e quantidade de luz no recrutamento do sub-bosque de uma mata ciliar no Alto São Francisco, Minas Gerais: análise através de fotos hemisféricas. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 99-101, 2007.

GIONGO, C.; WAECHTER, J. L. Composição florística e estrutura comunitária de epífitos vasculares em uma floresta de galeria na depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 563-572, 2004.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; MCKEE, W. A.; CUMMINS, K.W. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, v. 41, n. 8, p. 540-551, 1991.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, 2001.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Pesquisas de Geografia e Estatística**, 2015. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/232UY>. Acesso em: 31 março 2015.

INMET. **Consulta Dados da Estação Automática: CAMPO BOM (RS)**, 2014. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTg4NA. Acesso em: 08 maio 2014.

JOHANSSON, D. R. Vascular epiphytism in Africa. In: Lieth, H.; Werger, M. J. **Tropical rain forest ecosystems: Ecosystems of the world**. v. 14b. Amsterdam: Elsevier, 1989. p. 7-53.

KERSTEN, R. A.; SILVA, S. M. Composição florística e distribuição espacial de epífitas vasculares em floresta da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, p. 213-226, 2001.

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**. v. 1. 1. ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2011. p. 156-176.

KIELING-RUBIO, M. A.; BENVENUTI, T.; COSTA, G. M.; RODRIGUES, M. A. S.; SCHMITT, J. L.; DROSTE, A. Integrated environmental assessment of streams in the Sinos River basin in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 2 (Suppl.), p. 105-113, 2015.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; FOMIN, A.; SCHNIRRING, S.; PICKL, C. Influence of climatic conditions on the mutations in pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and implications for the Trad-MCN bioassay protocol. **Hereditas**, v. 141, p. 142-148, 2004.

KRESS, J. Symposium: The biology of tropical epiphytes. **Selbyana**, v. 9, p. 1-22, 1986.

MA, T. H. *Tradescantia* micronucleus (Trad-MCN) test of environmental clastogens, In: Kolber, A. R.; Wong, T. K.; Grant, L. D.; Dewonki, R. S.; Hughes, T. J. **In vitro Toxicity Testing of Environmental Agents: Current and Future Possibilities**. New York: Plenum, 1983. p. 191-214.

MA, T. H.; CABRERA G. L.; CHEN, R.; GILL, B. S.; SANDHU, S. S.; VANDENBERG, A. L.; SALAMONE, M. F. *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Mutation Research**, v. 310, p. 221-230, 1994.

MARKERT, B. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 21, p. 77-82, 2007.

MERLO, C. ABRIL, A.; AMÉ, M. V.; ARGÜELLO, G. A.; CARRERAS, H. A.; CHIAPPERO, M. S.; HUED, A. C.; WANNAZ, E.; GALANTI, L. N.; MONFERRÁN, M. V.; GONZÁLEZ, C. M.; SOLÍS, V. M. Integral assessment of pollution in the Suquía River (Córdoba, Argentina) as a contribution to lotic ecosystem restoration programs. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 5034-5045, 2011.

MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E. C.; RODRIGUEZ, M. T. R. Composição química da precipitação úmida da região metropolitana de Porto Alegre, Brasil, 2005-2007. **Química Nova**, v. 35, n. 6, p. 1075-1083, 2012.

MINATTI-FERREIRA, D. D.; BEAUMORD, A. C. Avaliação rápida de integridade ambiental das sub-bacias do rio Itajaí-Mirim no Município de Brusque, SC. **Revista Saúde & Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 21-27, 2004.

MORAN, R. C. Diversity, biogeography, and floristics. In: Ranker, T. A.; Haufler, C. H. **Biology and evolution of ferns and lycophytes**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. p. 367-394.

MUELLER, C. C. Gestão de matas ciliares. In: Lopes, I. V. **Gestão Ambiental no Brasil: experiência e sucesso**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1996. p. 185-214.

NIEDER, J.; IBISCH, P. L.; BARTHLOTT, W. Biodiversidad de epifitas - una cuestión de escala. **Revista del Jardín Botánico Nacional**, v. 18, p. 59-62, 1996-1997.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995.

PEREIRA, B. B.; CAMPOS-JÚNIOR, E. O.; MORELLI, S. *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 87, p. 17-22, 2013.

PROSINOS. **Caracterização Socioambiental da região da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**, 2014. Disponível em: <http://www.portalprosinos.com.br/conteudo.php?id=bacia>. Acesso em: 02 outubro 2014.

RIBEIRO-FILHO, A. A.; FUNCH, L. S.; RODAL, M. J. N. Composição florística da floresta ciliar do rio Mandassaia, Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 2, p. 265-276, 2009.

ROCHA, L. D.; DROSTE, A.; GEHLEN, G.; SCHMITT, J. L. Leaf dimorphism of *Microgramma squamulosa* (Polypodiaceae): a qualitative and quantitative analysis focusing on adaptations to epiphytism. **Revista de Biologia Tropical**, v. 61, n. 1, p. 291-299, 2013.

ROCHA, L. D.; COSTA G. M.; GEHLEN G.; DROSTE A.; SCHMITT J. L. Morphometric differences of *Microgramma squamulosa* (Kaulf.) de la Sota (Polypodiaceae) leaves in environments with distinct atmospheric air quality. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 3, p. 1137-1146, 2014.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos Complementares no Monitoramento dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho, H. de F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: FAPESP, 2000. p. 45-71.

TEIXEIRA, E. C.; MATTIUZI, C. D. P.; FELTES, S.; WIEGAND, F; SANTANA, E. R. R. Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 655-667, 2012.

THEWES, M. R.; ENDRES-JÚNIOR, D.; DROSTE, A. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. **Genetics and Molecular Biology**, v. 34, n. 4, p. 689-693, 2011.

ZOTZ, G. How fast does an epiphyte grow? **Selbyana**, v. 16, p. 150-154, 1995.