



Genotoxicidade do Ar Atmosférico e Epífitos Vasculares em uma Unidade de Conservação de uma Região Metropolitana no Sul do Brasil

Gustavo Marques da Costa¹, Vanessa Graeff², Catiúscia Marcon³, Ivi Galetto Mottin⁴, Jairo Lizandro Schmitt⁵ e Annette Droste^{6*}

¹Doutor em Qualidade Ambiental, Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: markesdakosta@hotmail.com. ²Mestranda em Qualidade Ambiental, Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Botânica, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: graeffvanessa@hotmail.com. ³Doutora e Pós-doutoranda em Qualidade Ambiental, Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: cati.marcon@hotmail.com. ⁴Mestre em Qualidade Ambiental, Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Botânica, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: ivi_mottin@yahoo.com.br. ⁵Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Botânica, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: jairols@feevale.br. ⁶Professora Titular do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, Universidade Feevale, Rod. ERS-239, 2755, 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: annette@feevale.br. *autor correspondente.

Artigo recebido em 18/12/2019 e aceito em 24/03/2020

RESUMO

A genotoxicidade do ar e a composição e estrutura comunitária de epífitos vasculares foram analisadas em um fragmento de mata ciliar inserido em uma unidade de conservação localizada na região metropolitana de Porto Alegre, no sul do Brasil. Durante cinco eventos distribuídos ao longo de um ano, inflorescências de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram expostas por 8 horas ao ar atmosférico na borda do fragmento e micronúcleos foram quantificados em células meióticas. Foram registradas frequências de 4,07 a 5,27 micronúcleos, caracterizando o ambiente como genotóxico. Foram inventariadas 35 espécies de epífitos vasculares, alocadas em 22 gêneros e seis famílias. Orchidaceae, Bromeliaceae, Polypodiaceae e Cactaceae foram as famílias com maior riqueza (12, nove, seis e cinco espécies, respectivamente). *Microgramma vacciniifolia*, *Rhynchospora teres*, *Tillandsia aeranthos* e *Pleopeltis pleopeltifolia*, espécies com características adaptativas a ambientes com intervenções antrópicas, concentraram mais de 50% do valor de importância epifítica total da comunidade. A riqueza de espécies foi menor quando comparada às de matas ciliares do trecho superior da bacia hidrográfica em que se encontra a unidade de conservação. A simplificação da estrutura da comunidade epifítica pode estar associada ao aumento da urbanização e da poluição atmosférica evidenciada pela genotoxicidade do ar.

Palavras-chave: conservação, florística, fragmentação florestal, potencial genotóxico, urbanização.

Atmospheric Air Genotoxicity and Vascular Epiphytes in a Conservation Unit from a Metropolitan Area in South Brazil

ABSTRACT

The genotoxicity of the atmospheric air and the community structure of vascular epiphytes were analyzed in a riparian forest fragment inserted in a conservation unit located in the metropolitan area of Porto Alegre, South Brazil. During five events along a year, inflorescences of *Tradescantia pallida* var. *purpurea* were exposed for 8 hours to the atmospheric air at the edge of the fragment and micronuclei were quantified in meiotic cells. Frequencies from 4.07 to 5.27 micronuclei were recorded, characterizing the environment as genotoxic. Thirty-five species of vascular epiphytes were inventoried, allocated in 22 genera and six families. Orchidaceae, Bromeliaceae, Polypodiaceae and Cactaceae were the families with the greatest richness (12, nine, six and five

species, respectively). *Microgramma vacciniifolia*, *Rhipsalis teres*, *Tillandsia aeranthos* and *Pleopeltis pleopeltifolia*, species with adaptive characteristics to environments with anthropic interventions, concentrated more than 50% of the total epiphytic importance value of the community. Species richness was lower when compared to riparian forests at the upper stretch of the hydrographic basin where the conservation unit is located. The simplification of the structure of the epiphytic community may be associated with the increase in urbanization and atmospheric pollution evidenced by the genotoxicity of the air.

Keywords: conservation, floristics, forest fragmentation, genotoxic potential, urbanization.

Introdução

A urbanização é um processo que ao longo do tempo sofreu modificações em sua dinâmica. Enquanto antigamente as cidades concentravam suas populações em espaços restritos (Grimm et al., 2008), atualmente o crescimento urbano geográfico é maior do que o aumento demográfico (Seto et al., 2011). Áreas rurais utilizadas para a agricultura e a pecuária e fragmentos florestais em áreas adjacentes aos núcleos urbanos são englobados de forma que conjuntamente constituem as regiões metropolitanas, preponderantemente urbanas (Seto et al., 2011).

Nas regiões metropolitanas, o crescimento populacional, a grande circulação de veículos automotores e as atividades dos diversos setores industriais são os principais responsáveis pela diminuição da qualidade do ar atmosférico (Rodriguez et al., 2011; Silva e Silva-Júnior, 2019). Estas fontes produzem agentes que são potencialmente genotóxicos que, liberados à atmosfera, podem se combinar com outros compostos, diminuindo a qualidade do ar e aumentando o risco de doenças respiratórias (Santos et al., 2015) e prejuízos à saúde humana (Marques et al., 2019). Os poluentes são classificados como primários ou secundários, sendo os primários de emissão direta, enquanto os secundários são consequência de reações químicas e/ou fotoquímicas (Dutra et al., 2019). Dentre os principais poluentes destacam-se os óxidos de nitrogênio (NO_x), o dióxido de enxofre (SO₂), o monóxido de carbono (CO) e o material particulado (MP) (Gulia et al., 2015). Em resposta aos agentes genotóxicos, diversas espécies de plantas sofrem danos em seu material genético. *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom, popularmente conhecida como coração-roxo, comumente utilizada como planta ornamental em praças e jardins, é utilizada para o biomonitoramento da qualidade do ar atmosférico por meio da quantificação dos micronúcleos resultantes de quebras ou perdas cromossômicas (Cassanego et al., 2015; Costa et al., 2016; Carvalho et al., 2017; Rocha et al., 2018).

No Brasil, a taxa de pessoas que vivem em áreas urbanas é alta, comparativamente aos 55,3%

dos 4,2 bilhões de habitantes no mundo, em 2018, e a projeção é de que esta taxa venha a aumentar a 92,4% até o ano de 2050 (United Nations, 2020). Seguindo a tendência mundial, também no Brasil, a urbanização está fortemente concentrada na região litorânea, desde o Nordeste até o Sul do país, ambiente originalmente ocupado por 95% de toda a Floresta Atlântica. O avanço da urbanização levou ao intenso processo de fragmentação deste bioma, a ponto de restarem apenas cerca de 8,5% de remanescentes florestais acima de 100 hectares (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2018). A fragmentação florestal é a principal causa da perda de biodiversidade devido a alterações abruptas nos fragmentos formados (Murcia, 1995; Tabarelli et al., 1999; Vilela et al., 2019). O isolamento dos ecossistemas florestais está relacionado inversamente ao fluxo de indivíduos e de genes entre os diferentes fragmentos (Seto et al., 2011), alterando a dinâmica e a integridade populacional e comunitária. Em consequência, aumentam os contrastes entre fragmentos adjacentes e a homogeneidade dentro de cada fragmento (Ribeiro et al., 2009).

O processo de fragmentação e suas consequências são especialmente dramáticos em biomas considerados *hotspots* de biodiversidade, como a Floresta Atlântica (Assis et al., 2019), que ocupa o terceiro lugar na lista mundial de áreas prioritárias para conservação de plantas vasculares (Myers et al., 2000; Mittermeier et al., 2005). Para este bioma, são estimadas mais de 20 mil espécies de plantas, sendo que 40% são consideradas endêmicas (Myers et al., 2000). Destacam-se em riqueza e diversidade as plantas vasculares epifíticas (Kersten, 2010). A composição e a estrutura comunitária das plantas epifíticas vasculares fornecem informações relevantes acerca do estado de conservação de um fragmento florestal (Rocha-Uriarte et al., 2015). Os epífitos são considerados eficientes indicadores de qualidade ambiental, pelo fato de necessitarem de condições abióticas favoráveis para o seu estabelecimento e sua manutenção nas árvores hospedeiras (Fontoura, 2001) e devido à sensibilidade a mudanças das variáveis ambientais naturais e antrópicas, (Engwald et al., 2000).

Considerando que os ambientes urbanos, caracterizados por maiores temperaturas, menor umidade relativa e presença de poluição do ar (Silva et al., 2019), são ecossistemas de alta complexidade resultantes da interação dos elementos naturais e daqueles resultantes das atividades humanas (Forman, 2014), a criação de unidades de conservação (UC) em áreas urbanas cumpre o seu objetivo de promover a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais, a educação ambiental, o contato harmônico com a natureza, o lazer e a pesquisa científica (Gurgel et al., 2011). As UCs são legalmente instituídas pelo Poder Público e reguladas pela Lei 9.985 de 2000 (Brasil, 2000), que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Qualquer interferência nestas áreas está condicionada a regulamentações específicas, com o objetivo de garantir a conservação da qualidade destes ambientes e de seus entornos (Beiroz, 2015).

As funções dos ecossistemas, resultantes das interações entre os diferentes elementos, geram serviços ecossistêmicos à medida que fornecem benefícios diretos e indiretos aos seres humanos. Dentre os serviços que os ecossistemas fornecem à humanidade, estão os serviços de regulação, como regulação da qualidade do ar, e serviços culturais, como benefícios recreacionais (Costanza et al., 1997; De Groot et al., 2002, 2010). Se UCs estão englobadas em uma matriz urbana de intensas atividades antrópicas, a questão é como planejar e manejar as áreas urbanas, de forma que as atividades humanas também favoreçam a manutenção e a melhoria dos próprios serviços ecossistêmicos (MMA, 2020; Lau et al., 2020).

O Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz está inserido no centro urbano do município de São Leopoldo, na região metropolitana de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. A base econômica da região metropolitana de Porto Alegre é de caráter industrial, com destaque para as indústrias siderúrgica, petroquímica, cimenteira, de celulose e refinaria de petróleo (IBGE, 2020). São Leopoldo possui uma população estimada de 236.835 habitantes e uma frota de veículos automotores de 116.322, sendo que aproximadamente 70% de sua área e 85,4% das vias públicas são urbanas (IBGE, 2020). Este parque é uma UC instituída pelo Decreto Municipal nº 4.330/2005, que teve seus limites ampliados e sua denominação alterada em 2012, pela Lei Municipal nº 7739/2012 (Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 2005, 2012). Do total da área, 600 ha são Área de Preservação Permanente, e o restante é constituído por espaços

de recreação e atividades físicas, além do Jardim Botânico do município.

Esta UC está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, na planície de inundação do principal curso hídrico da bacia, o Rio dos Sinos. A mata ciliar é um remanescente da Floresta Atlântica, que, apesar de alterada pela intervenção humana, contribui com a redução do impacto das cheias e com a regulação do fluxo hídrico no terço inferior da bacia, que se reflete em serviços ecossistêmicos relevantes para São Leopoldo e os municípios a jusante, até a foz do Rio dos Sinos (ICLEI, 2020). A área era ocupada por famílias de catadores de lixo que foram realocados para a criação da UC. Com a desocupação, 1.194 toneladas de lixo foram retiradas do local (Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 2020). A densa malha viária de São Leopoldo circunda a UC a sul, leste e oeste, se destacando a Avenida Imperatriz Leopoldina, principal via de ligação entre diversos bairros, o centro urbano do município e a rodovia BR-116.

O presente estudo teve como objetivo caracterizar o cenário ambiental por meio da (i) avaliação da genotoxicidade do ar atmosférico e da (ii) análise da composição e da estrutura da comunidade epifítica vascular no Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz, considerado uma relevante UC, em perímetro urbano.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um fragmento de mata ciliar do Rio dos Sinos, inserido no Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz (29°45'651''S, 51°07'928''W), uma UC localizada no centro urbano do município de São Leopoldo, Rio Grande do Sul (Figura 1). A UC ocupa uma área total de 694 ha. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa - mesotérmico úmido sem período seco (Peel et al., 2007). No município de São Leopoldo, durante os anos do estudo (2013 e 2014), a temperatura média anual foi de 20,6°C, sendo a média de temperatura do mês mais quente, em janeiro, de 26,9°C, e do mês mais frio, em julho, de 15,4°C (Weather Underground, 2020). A precipitação pluviométrica acumulada foi 1.842,2 mm no mesmo período (Graeff et al., 2018).

Avaliação da genotoxicidade do ar atmosférico

Plantas de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivadas em vasos plásticos

contendo solo comercial e mantidas em ambiente externo no campus da Universidade. Três vezes por semana as plantas foram regadas, 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) (Thewes et al., 2011). Todos os exemplares derivaram de propagação vegetativa a partir de uma mesma população.

Cinco eventos de exposição de botões florais de *T. pallida* var. *purpurea* ao ar atmosférico na borda do fragmento de mata ciliar foram realizados entre setembro de 2013 e outubro de 2014. O bioensaio seguiu a metodologia descrita por Costa et al. (2015). Vinte ramos com inflorescências jovens foram coletados das plantas cultivadas na universidade e mantidos em recipientes contendo 2L de água destilada em ambiente com temperatura constante de $26\pm 1^{\circ}\text{C}$, e luminosidade natural, para adaptação por 24 horas. Posteriormente, a água destilada dos recipientes foi renovada e os ramos foram transportados em caixas térmicas até o fragmento florestal, onde foram

expostos por 8 horas (9 h às 17 h) ao ar atmosférico. Após o período de exposição, os ramos foram transportados ao laboratório e recuperados em nova água destilada durante 24 horas, nas mesmas condições de temperatura e luz do período de adaptação. Simultaneamente a cada exposição, um controle negativo foi realizado, com exposição de ramos com botões florais em condições controladas, com temperatura de $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ e sob luz natural. As inflorescências com os botões florais foram fixadas em etanol absoluto: ácido acético glacial (3:1/ v:v) e armazenadas em etanol 70% sob refrigeração (4°C). Os botões florais foram dissecados e as anteras foram maceradas em carmim acético 1%. Em cada lâmina, foram analisadas 300 tétrades provindas de um botão floral e se registrou o número de MCN sob microscopia óptica em aumento de 400 x (Olympus CX4). Dez lâminas foram analisadas para cada exposição realizada, totalizando 3.000 tétrades. As frequências de micronúcleos foram expressas em MCN/100 tétrades (Thewes et al., 2011).

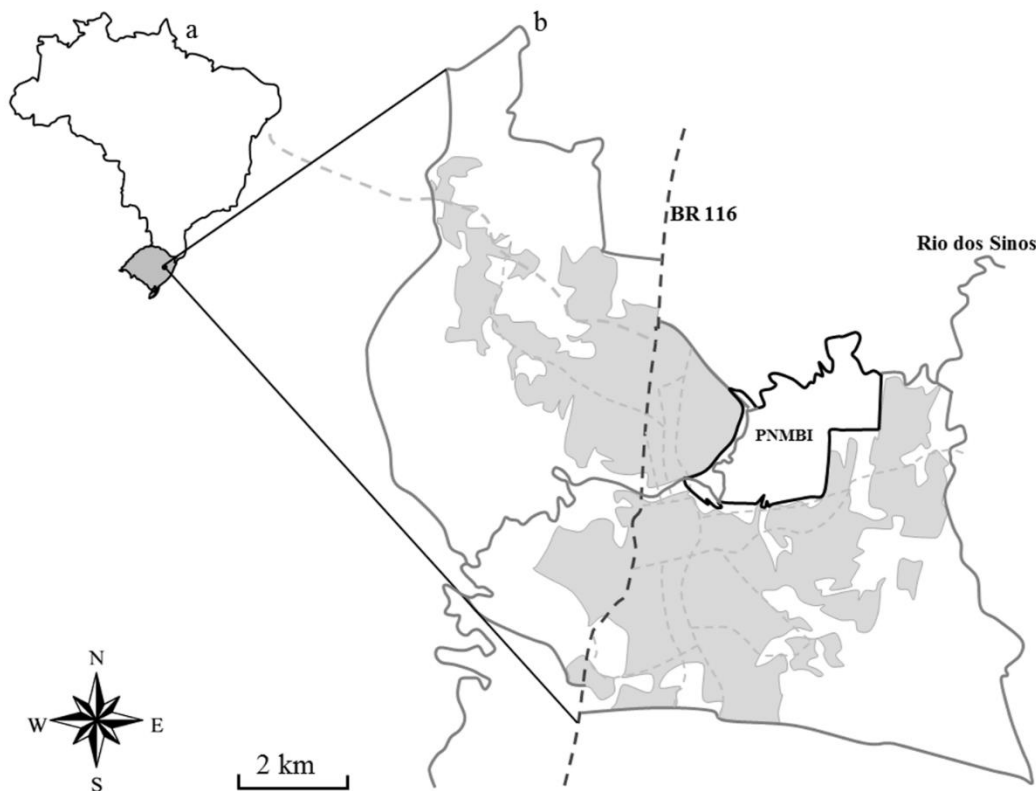


Figura 1. Localização da área de estudo. (a) Brasil, com destaque em cinza para o estado do Rio Grande do Sul; (b) Município de São Leopoldo (destaque em cinza, área urbana; linhas tracejadas se referem às principais vias; PNMBI Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz).

A normalidade das frequências de MCN foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de significância. Como os dados

obedeceram aos pressupostos de normalidade, diferenças entre médias obtidas para o ambiente estudado e o controle em cada exposição foram

analisadas pelo teste *t* de Student, e diferenças entre médias obtidas nas exposições foram verificadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. As análises foram realizadas com o uso do programa SPSS, versão 22.

Inventário florístico e análise da estrutura comunitária

A amostragem dos epífitos no fragmento de mata ciliar ocorreu entre janeiro e dezembro de 2014. Ao longo de um transecto de 800 m paralelo ao Rio dos Sinos, foram selecionados 40 forófitos equidistantes entre si, que apresentassem um diâmetro à altura do peito de, no mínimo, 10 cm.

O inventário florístico foi realizado a partir de observação direta das plantas no ambiente epifítico e de escalada nos forófitos, quando necessário. Os indivíduos representativos e férteis foram coletados, identificados e herborizados seguindo as técnicas propostas por Guedes-Bruni et al. (2002). A validade dos nomes das espécies foi verificada na Lista de Espécies da Flora do Brasil (2020). Os epífitos vasculares foram classificados em famílias de acordo com o sistema APG IV (2016) e as samambaias e licófitas, seguindo o sistema PPG I (2016). Espécimes-testemunho foram depositados no *Herbarium Anchieta* (PACA) do Instituto Anchieta de Pesquisas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo, RS) e duplicatas foram depositadas na coleção botânica da Universidade Feevale (Novo Hamburgo, RS).

Para a análise da estrutura comunitária, os forófitos foram divididos em cinco zonas de altura para registro de ocorrência das espécies: zona (1), zona (2), zona (3), zona (4) e zona (5), conforme metodologia descrita por Johansson (1974). Para cada espécie epifítica, foi atribuída uma nota de cobertura, de acordo com a biomassa e abundância (1, 3, 5, 7, e 10) na zona de ocorrência (Kersten e Waechter, 2011). Quanto maior o tamanho dos indivíduos e/ou maior a abundância, maior foi a nota de cobertura. O índice de valor de importância epifítico (VI_e) resultou da média aritmética da soma das frequências relativas nos forófitos e nos intervalos de altura e da cobertura relativa (Waechter, 1998).

Resultados e discussão

Genotoxicidade do ar atmosférico

Os botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos na borda da mata ciliar

apresentaram frequências de MCN entre 4,07 e 5,27 nos diferentes eventos de exposição, sendo que estes valores não diferiram significativamente entre si (Figura 2), mas foram significativamente superiores às frequências obtidas no controle negativo (entre 0,87 e 1,70). O controle confirmou a confiabilidade do bioensaio pelo fato de as frequências de MCN terem estado abaixo do valor considerado aceitável para frequências resultantes de mutações espontâneas quando as plantas são mantidas em ambiente não poluído, que é de até 2,0 (Pereira et al., 2013). O período de adaptação antes da exposição dos botões florais, adotado na metodologia de Costa et al. (2015), é importante para minimizar qualquer interferência ambiental anterior à exposição (Klumpp et al., 2004).

As frequências de MCN registradas no presente estudo foram maiores do que aquelas verificadas em botões florais de *T. pallida* var. *purpurea* expostos ao ar em uma UC localizada no centro urbano do município de Novo Hamburgo, adjacente a São Leopoldo, que foram de 2,90 a 4,30 (Sasamori et al., 2012). Por sua vez, frequências duas vezes menores (1,50 a 2,50 MCN) foram registradas em mata ciliar de uma área de proteção ambiental localizada no município de Caraá, no trecho superior da Bacia do Rio dos Sinos (Cassanego e Droste, 2017). Esta diferença pode estar relacionada à menor densidade demográfica e ao menor fluxo veicular em Caraá quando comparado aos municípios do trecho inferior da bacia (Cassanego e Droste, 2017; IBGE, 2020). Na região metropolitana de Porto Alegre vivem cerca de 4,3 milhões de habitantes, que equivalem a 37,7% da população total do Rio Grande do Sul. É a região mais densamente povoada do Estado, com média de 389,7 habitantes/km² (Rio Grande do Sul, 2019).

A genotoxicidade do ar atmosférico no centro de São Leopoldo, monitorada com *T. pallida* var. *purpurea* em período parcialmente coincidente aos eventos de exposição do presente estudo (maio de 2012 a fevereiro de 2014) foi revelada por frequências de, em média, 2,0 a 6,0 MCN (Costa et al., 2016), de forma que, na borda do fragmento da UC, a qualidade do ar não está superior. Nos mesmos anos, frequências de MCN em *T. pallida* var. *purpurea* semelhantes e até maiores foram registradas em Canoas (3,5 a 9,0), Esteio (3,0 a 8,0) (Costa et al., 2016) e Sapucaia do Sul (4,77 a 8,28) (Blume et al., 2014), municípios vizinhos a São Leopoldo. O tráfego veicular e as fontes estacionárias são os maiores responsáveis pela emissão de poluentes para a atmosfera (Teixeira et al., 2012; Alves et al., 2020). No período do presente estudo, a rodovia federal BR-116 tinha um

intenso fluxo veicular na região metropolitana de Porto Alegre, de aproximadamente 150.000 veículos por dia (Migliavacca et al., 2012), sendo responsável por aproximadamente 40% das metropolitana, além de outras regiões do Estado e dos estados do Sul, do Sudeste e do Nordeste do país. Há registros da presença de importantes poluentes atmosféricos nos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, como monóxido de carbono, ozônio, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, metais pesados e material particulado (Teixeira et al., 2012).

Evidenciada pela quantidade de MCN formados em *T. pallida* var. *purpurea*, a genotoxicidade do ar atmosférico da região metropolitana de Porto Alegre e, inclusive, da área do Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz, é semelhante à de outros centros urbanos de expressiva densidade demográfica no Brasil que também foram avaliados com *T. pallida* var. *purpurea*. No estado de São Paulo, Savóia et

emissões veiculares no Estado (FEPAM, 2019). Esta rodovia é a principal via de ligação entre a capital e grande parte dos municípios da região

al. (2009) registraram frequências de até 4,6 MCN para o município de Santo André, e no centro urbano de Ribeirão Preto foram registrados até 3,7 MCN por Santos et al. (2015), em áreas de intenso tráfego veicular. Em Uberlândia, Minas Gerais, frequências de até 5,0 MCN foram observadas no centro urbano que tem uma densa malha viária (Pereira et al., 2013).

O intenso fluxo veicular na avenida que margeia a UC estudada contribui com a poluição da atmosfera, que ainda é potencializada pelos controladores eletrônicos de velocidade instalados nas proximidades do parque natural. Tais instrumentos aumentam a quantidade de poluentes liberados na atmosfera, devido à frenagem e subsequente aceleração dos veículos e ao maior consumo de combustível (Spósito et al., 2015). Em

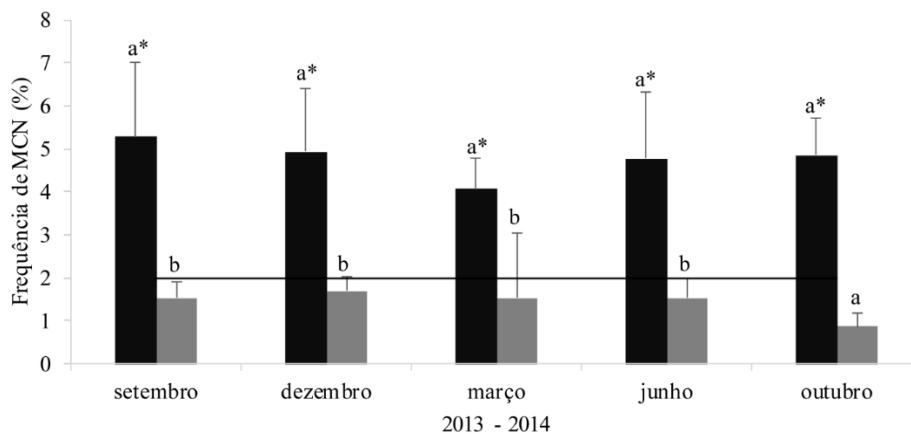


Figura 2. Frequência de MCN (média±desvio padrão) em botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos na borda de um fragmento de mata ciliar em uma Unidade de Conservação no município de São Leopoldo, RS (colunas pretas) e do controle negativo (colunas cinzas) em cinco eventos de exposição ao longo de um ano. Letras iguais nas colunas de mesma cor indicam que os dados não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey (P=0,05). * indica diferença significativa entre borda do fragmento e controle de acordo com o teste t de Student (P=0,05). Linha tracejada é o valor de referência para frequências de MCN por alterações espontâneas (Pereira et al., 2013).

consequência, metais pesados associados ao tráfego veicular, como cádmio e chumbo (Song e Gao, 2011; Guéguen et al., 2012; Hassan e Basahi, 2013) podem estar relacionados à formação de MCN devido ao seu potencial genotóxico (Steinkellner et al., 1998; Majer et al., 2002). De fato, concentrações de cádmio (0,26 µg g⁻¹) e chumbo (3,74 µg g⁻¹) acima dos valores estabelecidos para plantas ocorrentes em ambientes não poluídos (Markert, 1992) foram registradas em folhas de *Tillandsia recurvata* (L.) L.

(Bromeliaceae epifítica) no município de São Leopoldo (Becker et al., 2017).

Inventário florístico e estrutura comunitária

Foram inventariadas 35 espécies de epífitos vasculares, alocadas em 22 gêneros e seis famílias (Tabela 1). Destaca-se que a riqueza encontrada no presente estudo é maior quando comparada aos valores encontrados por Barbosa et al. (2015), que registraram 25 espécies de epífitos

na Área de Relevante Interesse Ecológico Henrique Luis Roessler, em Novo Hamburgo, município vizinho a São Leopoldo. Além disso, Staudt et al. (2013) inventariaram 40 espécies de epífitos no Parque Natural Municipal Tupancy, no município de Arroio do Sal, região litorânea a nordeste do Rio Grande do Sul. Em uma área natural no município de Caraá, no trecho superior da Bacia do Rio dos Sinos, foram inventariadas 75 espécies de epífitos vasculares (Rocha-Uriartt et al., 2015). Em ambientes florestais preservados, há uma maior diversidade funcional e riqueza de espécies, o que pode reduzir à medida que a urbanização aumenta, como evidenciado por Rocha-Uriartt et al. (2016), ao longo da Bacia do Rio dos Sinos. A menor riqueza de espécies encontrada no presente estudo, quando comparada à de Caraá pode estar relacionada à maior distância entre os forófitos observada nas matrizes florestais nos parques urbanos, dificultando a colonização por novas espécies, o que resulta na simplificação das comunidades ao longo do tempo (Werner, 2011). Em árvores isoladas, no centro da cidade de São Leopoldo, Becker et al. (2015) registraram cinco vezes menos espécies de epífitos vasculares em relação ao parque estudado, ressaltando a importância da mata ciliar avaliada para a manutenção local do componente epifítico. Do ponto de vista da qualidade ambiental, a urbanização pode alterar a estrutura da comunidade epífita devido ao aumento da poluição atmosférica e às mudanças no microclima. O tamanho da frota veicular e o aumento da densidade demográfica estão relacionados com a redução da riqueza de epífitos (NCAR, 2011; Becker et al., 2017).

Orchidaceae foi a família de maior riqueza, com 12 espécies, seguida de Bromeliaceae, Polypodiaceae e Cactaceae (nove, seis e cinco espécies, respectivamente) (Tabela 1). *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) e *Lepismium* Pfeiff. (Cactaceae) foram os gêneros com maior número de espécies (cinco e três, respectivamente). Barbosa et al. (2015) encontraram apenas cinco espécies de Orchidaceae na Área de Relevante Interesse Ecológico Henrique Luis Roessler, no município de Novo Hamburgo, grupo considerado como indicador de qualidade ambiental (Parthibhan et al., 2015). Orchidaceae é citada como a família mais diversa em diversos inventários da flora epifítica (Waechter, 1986; Waechter, 1998; Kelly et al., 1994; Fontoura et al., 1997; Rudolph et al., 1998) e o sucesso das orquídeas sobre os forófitos está associado a adaptações de resistência ao estresse hídrico, tais como suculência foliar, pseudobulbos, raízes com presença de velame, com grande capacidade de absorção de água até a saturação,

para posterior translocação às camadas mais internas, de tecido vivo (Gonçalves e Waechter, 2003; Kersten, 2010). Apesar de Orchidaceae ter sido a família com o maior número de espécies, estas representam menos de 12% do valor de importância epifítico (VIe) total da comunidade. Diversos estudos demonstraram que as orquídeas são constantemente as espécies com maior riqueza específica, porém apresentam menor frequência e valor de importância, o que pode estar associado com a sua ocorrência pontual nos forófitos (Gonçalves e Waechter, 2003; Giongo e Waechter, 2004; Barbosa et al., 2015).

O maior valor de importância (VIe) foi observado para *Microgramma vacciniifolia* (Langsd. & Fisch.) Copel. (VIe: 18,3%), que, juntamente com *Rhipsalis teres* (Vell.) Steud. (VIe: 12,7%), *Tillandsia aeranthos* (Loisel.) L.B.Sm. (VIe: 11,0%) e *Pleopeltis pleopeltifolia* (Raddi) Alston (VIe: 9,0%), concentrou mais de 50% do valor de importância epifítico total da comunidade (Tabela 1). Estas quatro espécies, pertencentes às Polypodiaceae, Bromeliaceae e Cactaceae, são consideradas pioneiras do ambiente epifítico. Elas ocupam o substrato em estágios iniciais da sucessão ecológica, tendo crescimento rápido, e são adaptadas a ambientes de alta luminosidade e grande amplitude térmica (Bonnet et al., 2011). A elevada concentração do valor de importância em poucas espécies deixa a comunidade de epífitos mais vulnerável às alterações ambientais (Mallmann et al., 2016) porque muitas espécies são pouco frequentes e apresentam baixa biomassa, podendo desaparecer mais rapidamente.

As espécies com maior valor de importância encontradas em ambientes urbanizados possuem estratégias adaptativas que favorecem seu desenvolvimento, como observado para o Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz. As espécies do gênero *Microgramma* apresentam rizoma longo-reptante que permite a ocupação de extensas áreas nos forófitos (Waechter, 1998; Kersten e Silva, 2001). Especificamente, *M. vacciniifolia* pode ter assumido os maiores valores de importância devido ao seu potencial alelopático (Peres et al., 2009) e *M. squamulosa* (Kaulf.) de la Sota possui folhas com elevado índice de esclerofilia (Rocha et al., 2013), densidade estomática e com maior espessura da hipoderme em ambientes com maior grau de poluição (Rocha et al., 2014), sendo essas adaptações importantes frente ao estresse hídrico (Fahn e Cutler, 1992).

Rhipsalis teres, a segunda espécie mais representativa neste fragmento de mata ciliar, apresenta modificações anatômicas e fisiológicas

Tabela 1. Estrutura fitossociológica de epífitos vasculares em fragmento de mata ciliar do Rio dos Sinos. Nf= número de forófitos com a espécie; Nz= número de zonas com a espécie; FAF= frequência absoluta da espécie sobre os forófitos; FRf= frequência relativa da espécie sobre os forófitos; FAi= frequência absoluta da espécie nas zonas; FRi= frequência relativa da espécie nas zonas; NCt= total das notas de cobertura por espécie; NCr= notas de cobertura relativa; Vie= valor de importância epifítico.

Família	Espécies	nf	nz	FAf%	FRf%	FAz%	FRz%	NCt	NCr%	Vie
Polypodiaceae	<i>Microgramma vacciniifolia</i> (Langsd. & Fisch.) Copel.	35	118	87,5	12,0	59,0	19,4	493	23,5	18,3
Cactaceae	<i>Rhipsalis teres</i> (Vell.) Steud.	34	73	85,0	11,6	36,5	12,0	301	14,4	12,7
Bromeliaceae	<i>Tillandsia aeranthos</i> (Loisel.) L.B.Sm.	28	73	70,0	9,6	36,5	12,0	237	11,3	11,0
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis pleopeltifolia</i> (Raddi) Alston	20	61	50,0	6,8	30,5	10,0	213	10,2	9,0
Bromeliaceae	<i>Tillandsia geminiflora</i> Brongn.	23	47	57,5	7,9	23,5	7,7	119	5,7	7,1
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	21	42	52,5	7,2	21,0	6,9	76	3,6	5,9
Bromeliaceae	<i>Vriesea gigantea</i> Gaudich.	18	20	45,0	6,2	10,0	3,3	122	5,8	5,1
Orchidaceae	<i>Lophiaris pumila</i> (Lindl.) Braem	18	28	45,0	6,2	14,0	4,6	68	3,2	4,7
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	16	25	40,0	5,5	12,5	4,1	61	2,9	4,2
Cactaceae	<i>Rhipsalis cereuscula</i> Haw.	13	23	32,5	4,5	11,5	3,8	79	3,8	4,0
Polypodiaceae	<i>Microgramma squamulosa</i> (Kaulf.) de la Sota	6	19	15,0	2,1	9,5	3,1	103	4,9	3,4
Bromeliaceae	<i>Tillandsia stricta</i> Sol. ex Ker Gawl.	11	15	27,5	3,8	7,5	2,5	35	1,7	2,6
Orchidaceae	<i>Campylocentrum aromaticum</i> Barb.Rodr.	10	12	25,0	3,4	6,0	2,0	26	1,2	2,2
Orchidaceae	<i>Gomesa flexuosa</i> (Lodd.) M.W.Chase & N.H.Williams	6	8	15,0	2,1	4,0	1,3	28	1,3	1,6
Cactaceae	<i>Lepismium lubricoides</i> (Lem.) Barthlott	4	8	10,0	1,4	4,0	1,3	32	1,5	1,4
Orchidaceae	<i>Alatiglossum ciliatum</i> (Lindl.) Baptista	4	7	10,0	1,4	3,5	1,2	25	1,2	1,2
Cactaceae	<i>Lepismium cruciforme</i> (Vell.) Miq.	3	3	7,5	1,0	1,5	0,5	13	0,6	0,7
Orchidaceae	<i>Anathallis adenochila</i> (Loefgr.) F.Barros	3	3	7,5	1,0	1,5	0,5	5	0,2	0,6
Piperaceae	<i>Peperomia delicatula</i> Henschen	2	4	5,0	0,7	2,0	0,7	6	0,3	0,5
Orchidaceae	<i>Acianthera glumacea</i> (Lindl.) Pridgeon & M.W.Chase	2	2	5,0	0,7	1,0	0,3	4	0,2	0,4
Piperaceae	<i>Peperomia tetraphylla</i> (G.Forst.) Hook. & Arn.	1	2	2,5	0,3	1,0	0,3	6	0,3	0,3
Polypodiaceae	<i>Pecluma sicca</i> (Lindm.) M.G. Price	1	2	2,5	0,3	1,0	0,3	2	0,1	0,3
Orchidaceae	<i>Polystachya estrellensis</i> Rchb.f.	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	5	0,2	0,2
Bromeliaceae	<i>Aechmea recurvata</i> (Klotzsch) L.B.Sm.	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	5	0,2	0,2
Cactaceae	<i>Lepismium warmingianum</i> (K.Schum.) Barthlott	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	5	0,2	0,2

Tabela 1 (continuação)

Família	Espécies	nf	nz	FAf%	FRf%	FAz%	FRz%	NCt	NCr%	Vle
Polypodiaceae	<i>Serpocaulon catharinae</i> (Langsd. & Fisch.) A.R. Sm.	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Orchidaceae	<i>Baptistonia sp.</i>	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Bromeliaceae	<i>Billbergia zebrina</i> (Herb.) Lindl.	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Orchidaceae	<i>Oncidium ottonis</i> Schltr.	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Orchidaceae	<i>Gomesa bifolia</i> (Sims) M.W.Chase & N.H.Williams	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Orchidaceae	<i>Cattleya intermedia</i> Graham	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Bromeliaceae	<i>Vriesea friburgensis</i> Mez	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis hirsutissima</i> (Raddi) de la Sota	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Dryopteridaceae	<i>Rumohra adiantiformis</i> (G. Forst.) Ching	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	1	0,0	0,2
Orchidaceae	<i>Acianthera recurva</i> (Lindl.) Pridgeon & M.W.Chase	1	1	2,5	0,3	0,5	0,2	1	0,0	0,2

como caule suculento fotossintético, ausência de folhas, presença de cera epicuticular, cutícula espessa e hipoderme colenquimática (Terrazas e Mauseth, 2002), que permitem a sobrevivência em condições rigorosas de umidade e de temperatura (Gibson e Nobel, 1986). Além disso, a espécie é pioneira e a dispersão de suas sementes é zoocórica, constituindo um importante recurso para a manutenção das aves, principalmente sobre árvores isoladas em áreas urbanas (Gonçalves e Waechter, 2003).

Pleopeltis pleopeltifolia reduz a sua superfície foliar exposta, diminuindo os danos causados pela incidência solar e pela falta de umidade no ambiente, estratégia conhecida como poiquiloidria (Benzing, 1990), de forma a poder viver com apenas 25% do seu conteúdo de água por longos períodos (Moran, 2012). Estas adaptações são fundamentais para sua sobrevivência em áreas antropizadas e com pouca disponibilidade hídrica. Esta espécie, assim como *Microgramma vacciniifolia*, é frequentemente encontrada sobre árvores utilizadas para a arborização urbana, demonstrando que as duas podem ser espécies pioneiras do ambiente epifítico, consideradas muitas vezes de forma popular como “ervas daninhas epifíticas” (Kersten e Silva, 2001).

As espécies de *Tillandsia*, cinco neste estudo, apresentam escamas conspícuas nas folhas, que contribuem para que não ocorra desidratação (Benzing, 1990). O seu predomínio demonstra que são espécies de ampla distribuição e frequentemente observadas em áreas com maior luminosidade ou mesmo antropizadas (Kersten, 2006, 2010), tal como os ambientes imediatamente adjacentes ao Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz. Além disso, o sucesso das espécies de *Tillandsia* deve-se à sua alta tolerância às condições atmosféricas extremas (Benzing, 1976), comuns em áreas urbanas. Espécies desse grupo podem apresentar folhas caracteristicamente xeromórficas, densamente recobertas por escamas epidérmicas, formando escudos assimétricos especializados na captação de água e nutrientes do ambiente atmosférico, e que conferem proteção contra intensa radiação solar (Benzing, 1976, Scatena e Segecin, 2005).

Conclusão

Considerando que a mata ciliar avaliada se encontra em uma Unidade de Conservação, o presente estudo evidenciou uma reduzida qualidade do ambiente, revelada pela genotoxicidade do ar atmosférico, pelo inventário florístico e pela análise da estrutura comunitária.

Os resultados corroboram com estudos que indicam uma depauperação progressiva dos fragmentos de mata ciliar ao longo da Bacia do Rio dos Sinos, no sentido inverso da urbanização.

De fato, a urbanização fragmenta ecossistemas naturais e, conseqüentemente, causa uma série de alterações ambientais negativas. Porém, as cidades também podem desempenhar uma importante função na minimização da degradação ambiental, com ações de conservação e manejo de suas áreas verdes protegidas.

Os resultados demonstraram que a avaliação combinada da genotoxicidade do ar atmosférico com o epifitismo vascular pode ser aplicada ao diagnóstico da qualidade em UCs urbanas, permitindo análises padronizadas do cenário ambiental em outras regiões.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROSUC) pela concessão de bolsa de Doutorado ao primeiro e à terceira autora, e de bolsa de Mestrado à segunda e à quarta autora. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa produtividade do quinto autor (PQ-308926/2017-0). Os autores ainda agradecem ao Biólogo Julian Mauhs, pelas informações disponibilizadas sobre o Parque Natural Municipal Banhado da Imperatriz.

Referências

- Alves, D.D., Riegel, R.P., Klauck, C.R., Ceratti, A.M., Hansen, J. Cansi, L.M., Pozza, S.A., Quevedo, D.M., Osório, D.M.M., 2020. Source apportionment of metallic elements in urban atmospheric particulate matter and assessment of its water-soluble fraction toxicity. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 12202–12214. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07791-8>
- APG IV - The Angiosperm Phylogeny Group, 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181, 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Assis, L.S., Campos M., Girão, V. J., 2019. Manejo de fragmentos florestais degradados. Campinas: The Nature Conservancy. 172 p.
- Barbosa, M.D., Becker, D.F.P., Cunha, S., Droste, A., Schmitt, J.L., 2015. 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* 75(2 suppl.), S25-S35. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.0913>
- Becker, D.F.P., Padoin, T.O.H., Nascimento, C.A., Robalski, J.L., Linden, R., Schmitt, J.L., 2015. Riqueza e composição de epífitos vasculares em áreas urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, RS, Brasil. *Pesquisas, Botânica* 68, 227-238.
- Becker, D.F.P., Linden, R., Schmitt, J.L., 2017. Richness, coverage and concentration of heavy metals in vascular epiphytes along an urbanization gradient. *Science of the Total Environment* 584-585, 48-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.092>
- Beiroz, H., 2015. Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação em ambientes urbanos sob a ótica territorial: reflexões, demandas e desafios. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 35, 275-286. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v35i0.38523>
- Benzing, D.H., 1976. Bromeliad trichomes: structure, function, and ecological significance. *Selbyana* 1, 330-348.
- Benzing, D.H., 1990. *Vascular epiphytes: general biology and related biota*. Cambridge: Cambridge University Press. 376 p. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511525438>
- Blume, K.K., Costa, G.M., Cassanego, M.B.B., Droste, A., 2014. Genotoxicity of the air in urban areas in the Porto Alegre metropolitan area, RS, Brazil. *Revista Brasileira de Biociências* 12, 158-163.
- Bonnet, A., Curcio, G.R., Lavorant, O.J., Galvão, F., 2011. Flora epifítica vascular em três unidades vegetacionais do Rio Tibagi, Paraná, Brasil. *Rodriguésia* 62, 491-498. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162305>
- Brasil, 2000. Lei Federal nº 9.985, regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF, 18 de julho de 2000. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1998/5.htm. Acesso: 12 fev. 2020.
- Carvalho, R.M., Machado, J.L., Aguiar, R.S., Mata, A.O., 2017. *Tradescantia pallida* as a biomonitoring tool to assess the influence of vehicle exhaust and benzene derivatives. *African Journal of Biotechnology* 16(6), 280-287. <https://doi.org/10.5897/AJB2017.15897>
- Cassanego, M.B.B., Droste, A., 2017. Assessing the spatial pattern of a river water quality in southern Brazil by multivariate analysis of biological and chemical indicators. *Brazilian Journal of Biology* 77(1), 118-126. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.11215>
- Cassanego, M.B.B., Sasamori, M.H., Petry, C.T., Droste, A., 2015. Biomonitoring the genotoxic potential of the air on *Tradescantia pallida* var. *purpurea* under climatic conditions in the Sinos River Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 75(4), 79-87. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.05514>
- Costa, G.M., Cassanego, M.B.B., Petry, C.T., Sasamori, M.H., Endres Junior, D., Droste, A., 2015. Avaliação da influência do tempo de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* para biomonitoramento da genotoxicidade do ar atmosférico. *Revista Brasileira de Biociências* 13(4), 224-230.
- Costa, G.M., Petry, C.T., Droste, A., 2016. Active versus passive biomonitoring of air quality: Genetic damage and bioaccumulation of trace elements in flower buds of *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. *Water, Air & Soil Pollution* 227(229), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2923-y>
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- De Groot, R.S., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Haines-Young, R., Gowdy, J., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R., Ring, I., 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: Kumar, P. (ed.). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB): Ecological and Economic Foundations*. Londres: Earthscan, Routledge. 456 p.
- Dutra, J.M., Relvas, H., Canalez, G., Pinheiro, H., Waichman, A., Lopes, M., 2019. Análise de Deslocamento dos Poluentes de Emissões na Cidade de Manaus, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(1), 39-56. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p039-056>
- Engwald, S., Schmit-Neuerburg, V., Barthlott, W., 2000. Epiphytes in rainforests of Venezuela –

- diversity and dynamics of a biocenosis. In: Breckle, S.W., Schweizer, B., Arndt, U. (eds.). Results of worldwide ecological studies. Proceedings of the first symposium by the AFW Foundation. Hoheneim: Günter Heimbach. 425-434 p. <http://doi.org/10.13140/2.1.2751.8400>
- Fahn, A., Cutler, D.F., 1992. Xerophytes - Encyclopedia of Plant Taxonomy. Berlin: Gebrüder Borntraeger. 176 p.
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler, 2019. Rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar Relatório 2018. Disponível: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/arq/Relatorio%20da%20Qualidade%20do%20Ar_2018.pdf. Acesso: 15 mar. 2020.
- Fontoura, T., 2001. Bromeliaceae e outras epífitas-estratificação e recursos disponíveis para animais na Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Rio de Janeiro. *Bromelia* 6: 33-39.
- Fontoura, T., Sylvestre, L.S., Vaz, A.M.S., Vieira, C.M., 1997. Epífitas vasculares, hemiepífitas e hemiparasitas da Reserva Ecológica de Macaé de Cima. In: Lima, H.C., Guedes-Bruni, R.R. Serra de Macaé de Cima: diversidade florística e conservação em Mata Atlântica. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 345 p.
- Forman, R.T.T., 2014. Urban ecology: Science of the cities. Cambridge: Cambridge University Press. 474 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139030472>
- Fundação SOS Mata Atlântica, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2016-2017. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica & INPE. 63 p.
- Gibson, A.C., Nobel, P.S., 1986. The Cactus Primer. Cambridge: Harvard University Press. 296 p. <http://dx.doi.org/10.4159/harvard.9780674281714>
- Giongo, C., Waechter, J.L., 2004. 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* 3(27), 563-572. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000300015>
- Gonçalves, C.N., Waechter, J.L., 2003. Aspectos florísticos e ecológicos de epífitos vasculares sobre figueiras isoladas no norte da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Acta Botânica Brasílica* 17, 89-100. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062003000100007>
- Graeff, V., Mottin, I.G., Rocha-Uriartt, L., Osório, D.M.M., Schmitt, J.L., 2018. Assessment of a subtropical riparian forest focusing on botanical, meteorological, ecological characterization and chemical analysis of rainwater. *Revista Ambiente e Água* 13(2), 1-16. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2140>
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864), 756–760. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1150195>
- Guedes-Bruni, R.R., Morim, M.P., Lima, H.C., Sylvestre, L.S., 2002. Inventário florístico. In: L. Sylvestre & M.M.T. Rosa (orgs.). Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica. Rio de Janeiro: Seropédica. 121 p.
- Guéguen, F., Stille, P., Geage, M.L., Boutin, R., 2012. Air pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring-part I: trace element analysis. *Chemosphere* 86, 1013–1019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.11.040>
- Gulia, S., Nagendra, S.M.S., Khare, M., Khanna, I., 2015. Urban air quality management – A review. *Atmospheric Pollution Research* 6, 286-304. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.033>
- Gurgel, H.C., Hargrave, J., Araújo, F.F.S., Holmes, R.M., Ricarte, F.M., Dias, B.F.S., Rodrigues, C.G.O., Brito, M.C.W., 2011. Unidades de conservação e o falso dilema entre conservação e desenvolvimento. In: Medeiros, R.; Araújo, F. F. S. (Org.). Dez anos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: lições do passado, realizações presentes e perspectivas para o futuro. Brasília: MMA. 220 p.
- Hassan, I.A., Basahi, J.M., 2013. Assessing roadside conditions and vehicular emissions using roadside lettuce plants. *Polish Journal of Environmental Studies* 22(2), 387–393.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Cidades. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso: 14 fev. 2020.
- ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2020. Parque Natural Municipal Banhado Imperatriz. Disponível: <http://sams.iclei.org/o-que-fazemos/projetos-em-andamento/areas-protetidas-locais/brasil.html>. Acesso: 14 fev. 2020.
- Johansson, D.R., 1974. Ecology of vascular epiphytes in West African rain Forest. *Acta Phytogeographica Suecica* 59(5), 1-129.
- Kelly, D.L., Tanner, E.V.J., Niclughadha, E.M., Kapos V., 1994. Floristic and biogeography of a rain-forest in the Venezuelan Andes. *Journal*

- of Biogeography 21(4), 421-440. <http://doi.org/10.2307/2845760>
- Kersten, R. A. 2006. Métodos de estudo quantitativo da flora epifítica. In: Matiath, J.E.A., Santos, R.P. (orgs.). Os Avanços da Botânica no Início do Século XXI. Conferências, Plenárias e Simpósios do 57º Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Porto Alegre, pp. 331-335. <http://doi.org/10.13140/2.1.2213.7921>
- Kersten, R.A., 2010. Epífitas vasculares – Histórico, participação taxonômica e aspectos relevantes, com ênfase na Mata Atlântica. *Hoehnea* 37(1), 9-38. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062010000100001>
- Kersten, R.A., Silva, S.M., 2001. Composição florística e distribuição espacial de epífitas vasculares em floresta da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 24, 213-226. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000200012>
- Kersten, R.A., Waechter, J.L., 2011. 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. (eds.). *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso*. Viçosa: Editora UFV. 558 p.
- Klumpp, A., Ansel, W., Fomin, A., Schnirring, S., Pickl, C., 2004. Influence of climatic conditions on the mutations in pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and implications for the Trad-MCN bioassay protocol. *Hereditas* 141, 142–148. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2004.01806.x>
- Lau, A.V., Ferreira, G.C., Jardim, M.A.G., 2020. Fitossociologia e aspectos ecológicos da comunidade arbórea do Bosque Rodrigues Alves - Jardim Botânico da Amazônia, Belém, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(2), 510-526. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p510-526>
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2020. Disponível: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso: 12 jan. 2020.
- Majer, B.J., Tscherko, D., Paschke, A., Wennrich, R., Kundi, M., Kandeler, E., Knasmüller, S., 2002. Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia* and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. *Mutation Research* 515, 111–124. [http://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00004-9](http://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00004-9)
- Mallmann, I.T., Silva, V.L., Schmitt, J.L., 2016. Estrutura comunitária de samambaias em mata ciliar: avaliação em gradiente de antropização. *Revista Ambiente e Água* 11(1), 110-124. <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1717>
- Marques, E.V., Rocha, C.A., Santos, R.P., Ramos, F.C.L., Lima, J.L.R., Cattony, C.M., Silva, M. V.C., Zanella, M.E., Cavalcante, R.M., 2019. Influência da arborização e da edificação na dispersão de material particulado respirável em cidade costeira altamente urbanizada (Fortaleza, CE-Brasil). *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(3), 913-929. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p913-928>
- Markert, B., 1992. Establishing of “reference plant” for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprint. *Water, Air & Soil Pollution* 64, 533–538. <https://doi.org/10.1007/BF00483363>
- Migliavacca, D.M., Teixeira, E.C., Rodriguez, M.T.R., 2012. Composição química da precipitação úmida da região metropolitana de Porto Alegre, Brasil, 2005-2007. *Química Nova* 35(6), 1075-1083. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000600002>
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C.G., Lamoreux, J., Fonseca, G.A.B., 2005. Hotspots revisited: earth’s biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. *Cidade do México: CEMEX, Agrupación Sierra Madre*. 392 p.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2020. Áreas Prioritárias. Disponível: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira/%C3%A1reas-priorit%C3%A1rias.html>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Moran, R.C., 2012. *A Natural History of Ferns*. Portland: Timber Press. 302 p.
- Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10, 58–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity Hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- NCAR - National Center for Atmospheric Research, 2011. Disponível: <http://scied.ucar.edu/longcontent/urban-heat-islands>. Acesso: 23 mar. 2020.
- Parthibhan, S., Kumar, T., Rao, M.V., 2015. Phenology and reintroduction strategies for

- Dendrobium aqueum Lindley – An endemic, near threatened orchid. *Journal for Nature Conservation* 24, 68-71. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.11.003>
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion* 4, 439-473. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pereira, B.B., Campos-Júnior, E.O., Morelli, S., 2013. *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 87, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.10.003>
- Peres, M.T.L.P., Simionatto, E., Hess, S.C., Bonani, V.F.L., Candido, A.C.S., Catelli, C., Poppi N.R., Honda, N.K., 2009. Estudos químicos e biológicos de *Microgramma vacciniifolia* (Langsd. & Fisch.) Copel (Polypodiaceae). *Química Nova* 32(4), 897-901. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000400013>
- PPG I - The Pteridophyte Phylogeny Group, 2016. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* 54(6), 563-603. <https://doi.org/10.1111/jse.12229>
- Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 2005. Decreto Municipal nº 4330, institui o Parque Natural Municipal Imperatriz Leopoldina, e enquadra no Sistema Nacional de Unidades de Conservação. São Leopoldo, RS, 30 de setembro de 2005. Disponível: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/s/sao-leopoldo/decreto/2005/433/4330/decreto-n-4330-2005>. Acesso: 14 fev. 2020.
- Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 2012. Altera a Lei Municipal nº 6.081/2006, dando nova denominação a unidade de conservação do Parque Natural Municipal Imperatriz Leopoldina, e ampliando seus limites, altera a Lei Municipal nº 7.355/2011, delimitando e atualizando a área do Jardim Botânico de São Leopoldo - Parque Imperatriz, regulariza as unidades de conservação do Parque Natural Municipal Base Ecológica do Rio Velho e do Parque Natural Municipal Mata do Daniel Köche Filho, e dá outras providências. São Leopoldo, RS, 03 de agosto de 2012. Disponível: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/s/sao-leopoldo/lei-ordinaria/2012/774/7739/lei-ordinaria-n-7739-2012->. Acesso: 14 fev. 2020.
- Prefeitura Municipal de São Leopoldo, 2020. PMIL - Parque Imperatriz Leopoldina. Disponível: http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/?titulo=Secretarias%20e%20Gabinetes&template=conteudo&categoria=1&codigoCategoria=1&idConteudo=1505&tipoConteudo=INCLUIDE_MOSTRA_CONTEUDO. Acesso: 14 fev. 2020.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J., Hirota, M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142, 1141–1153. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- Rio Grande do Sul – Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2019. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. Disponível: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/regiao-metropolitana-de-porto-alegre-rmpa>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Rocha, A.N., Candido, L.S., Pereira, J.G., Silva, C.A.M., Silva, S.V., Mussury, R.M., 2018. Evaluation of vehicular pollution using the TRAD-MCN mutagenic bioassay with *Tradescantia pallida* (Commelinaceae). *Environmental Pollution* 240, 440–447. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.091>
- Rocha, L.D., Droste, A., Gehlen, G., Schmitt, J.L., 2013. Leaf dimorphism of *Microgramma squamulosa* (Polypodiaceae): a qualitative and quantitative analysis focusing on adaptations to epiphytism. *Revista de Biologia Tropical* 61(1), 291-299. <http://doi.org/10.15517/rbt.v61i1.11128>
- Rocha, L.D., Costa, G.M., Gehlen, G., Droste A., Schmitt J.L., 2014. Morphometric differences of *Microgramma squamulosa* (Kaulf.) de la Sota (Polypodiaceae) leaves in environments with distinct atmospheric air quality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86(3), 1137-1146. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130094>
- Rocha-Uriartt, L., Cassanogo, M.B.B., Becker, D.F.P., Droste, A., Schmitt, J.L., 2015. Diagnóstico ambiental de mata ciliar: uma análise integrada de parâmetros botânicos, meteorológicos e da genotoxicidade do ar atmosférico. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 35, 102-115.
- Rocha-Uriartt, L., Becker, D.F.P., Graeff, V., Koch, N.M., Schmitt, J.L., 2016. 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*

- 149, 261-271.
<https://doi.org/10.5091/plecevo.2016.1234>
- Rodriguez, J.H., Weller, S.B., Wannaz, E.D., Klumpp, A., Pignata, M.L., 2011. Air quality biomonitoring in agricultural areas nearby to urban and industrial emission sources in Córdoba province, Argentina, employing the bioindicator *Tillandsia capillaris*. *Ecological Indicators* 11, 1673-1680.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.015>
- Rudolph, D., Rauer, G., Neider, J., Barthlott, W., 1998. Distributional patterns of epiphytes in the canopy and phorophyte characteristics in a western Andean rain forest in Ecuador. *Selbyana* 19, 27-33.
- Santos, A.P.M., Segura-Muñoz, S.I., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Martinez, C.A., Takayahnagui, A.M.M., 2015. Traffic-related air pollution biomonitoring with *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(39), 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s10661-014-4234-3>
- Sasamori, M.H., Endres Júnior, D., Barbosa, M.D., Schmitt, J.L., Droste, A., 2012. Active monitoring of urban air with a simple short-term *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay under different temperature conditions. *Revista Brasileira de Biociências* 10(3), 298-302.
- Savóia, E.J.L., Domingos, M., Guimarães, E.T., Brumati, F., Saldiva, P.H.N., 2009. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 255-260.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.03.019>
- Scatena, V.L., Segecin, S., 2005. Leaf anatomy of *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) from “Campos Gerais”, Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 28(3), 635-649.
<https://doi.org/10.1590/S0100-84042005000300019>
- Seto, K.C., Fragkias, M., Güneralp, B., Reilly, M.K., 2011. A meta-analysis of global urban land expansion. *PLOS ONE* 6(8), 1-9.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Silva, M.O., Silva-Júnior, R.S., 2019. Avaliação da Qualidade do Ar (NO₂, CO, O₃) na Cidade de Maceió/AL Utilizando o Modelo Atmosférico WRF/CHEM. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12 (3), 801-836.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p801-836>
- Silva, E.M.F., Bender, F., Monaco, M.L.S., Smith, A.K., Silva, P., Buckeridge, M.S., Eibl, P.M., Locosselli, G. M., 2019. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. *Estudos Avançados* 33(97), 81-101.
<https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.005>
- Song, F., Gao, Y., 2011. Size distributions of trace elements associated with ambient particular matter in the affinity of a major highway in the New Jersey - New York metropolitan area. *Atmospheric Environment* 45, 6714-6723.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.031>
- Spósito, J.C.V., Crispim, B.A., Mussury, R.M., Grisolia, A.B., 2015. Genetic instability in plants associated with vehicular traffic and climatic variables. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 120, 445-448.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.06.031>
- Staudt, M.G., Lippert, A.P.U., Cunha, S., Becker, D.F.P., Marchioretto, M.S., Schmitt, J.L., 2013. Composição florística de epífitos vasculares do Parque Natural Municipal Tupancy, Arroio do Sal, RS – Brasil. *Pesquisas, Botânica* 63,177-188.
- Steinkellner, H., Mun-Sik, K., Helma, C., Ecker, S., Ma, T.H., Horak, O., Kundi, M., Knasmüller, S., 1998. Genotoxic effects of heavy metals: comparative investigation with plant bioassays. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 31, 183-191.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(1998\)31:2<183::AID-EM11>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(1998)31:2<183::AID-EM11>3.0.CO;2-8)
- Tabarelli, M., Mantovani, W., Peres, C.A., 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation* 91(2-3), 119-127.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00085-3)
- Teixeira, E.C., Mattiuzi, C.D.P., Feltes, S., Wiegand, F., Santana, E.R.R., 2012. Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84(3), 655-667.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000300008>
- Terrazas, T., Mauseth, J.D., 2002. Stem anatomy and morphology. In: Nobel, P.S. *The cacti: biology and uses*. Berkeley: California University Press. 292 p.
- Thewes, M.R., Endres Júnior, D., Droste, A., 2011. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. *Genetics and Molecular Biology* 34(4), 689-

693. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572011005000055>
- United Nations - Department of Economic and Social Affairs, 2020. Population Dynamics. Disponível: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Vilela, E.F., Callegaro, G.M., Fernandes, G.W., 2019. Biomass e agricultura: oportunidades e desafios. Academia Brasileira de Ciências: Rio de Janeiro. 304p.
- Waechter, J.L., 1986. Epífitos vasculares da mata paludosa do faxinal, Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica* 34, 39-49.
- Waechter, J.L., 1998. Epifitismo vascular em uma floresta de restinga do Brasil subtropical. *Revista Ciência e Natura* 20, 43-66.
- Weather Underground, 2020. Estação Cristo Rei. Disponível: <https://www.wunderground.com/weather/br/s%C3%A3o-leopoldo>. Acesso: 10 mar. 2020.
- Werner, F.A., 2011. Reduced growth and survival of vascular epiphytes on isolated remnant trees in a recent tropical montane forest clear-cut. *Basic and Applied Ecology* 12, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.11.002>