

UTILIZAÇÃO DA *TILLANDSIA AERANTHOS* COMO BIOINDICADOR DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRASIL

USE OF *TILLANDSIA AERANTHOS* AS BIOINDICATOR OF AIR POLLUTION, SANTA CRUZ DO SUL, RS, BRAZIL

TADIELLO, R.B.¹
COSTA, A.B.^{1,2}
LOBO, E.A.¹
SCHUCH, M.¹
PUTZKE, J.¹

Resumo: Muitas plantas têm sido utilizadas como bioindicadores de qualidade do ar, destacando a família Bromeliaceae. Neste contexto, o objetivo principal deste estudo foi testar um projeto piloto de biomonitoramento da poluição atmosférica por metais na região central da cidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, utilizando a espécie *Tillandsiaaeranthos* (Loiseleur) L. B. Smith como organismo bioindicador passivo. Oito sítios de amostragem foram selecionados, distribuídos em seis ruas e/ou avenidas principais da cidade. As amostras foram coletadas utilizando técnicas manuais, no período de março a maio de 2010, e as determinações de metais foram feitas em um espectrofotômetro de absorção atômica com sistema de atomização por chama. Os resultados indicaram concentrações de cobre, manganês e zinco semelhantes aos encontrados em grandes centros urbanos. Já os resultados obtidos para cádmio, chumbo e níquel foram muito próximos, ou mesmo inferiores, ao limite de detecção do método utilizado, impedindo a quantificação de efeitos acumulativos de forma segura. Os pontos P1 (Avenida João Pessoa), P3 e P4 (Rua Tenente Coronel Brito) foram os de pior qualidade, principalmente em função do elevado coeficiente de concentração determinado para zinco. Além disto, os pontos P3 e P4 apresentam os maiores coeficientes de concentração para cobre.

Palavras-chave: *Tillandsiaaeranthos*. Bioindicador. Poluição Atmosférica. Santa Cruz do Sul-RS.

Abstract: Many plants have been used as bioindicators of air quality, highlighting the family Bromeliaceae. In this context, the main objective of this study was to test a pilot project of biomonitoring of air pollution by metals in the central city of Santa Cruz do Sul, Brazil, using the species *Tillandsiaaeranthos* (Loiseleur) L. B. Smith as passive bioindicator organism. Eight sampling sites were selected, distributed over six streets and/or the main avenues of the city. Samples were collected using manual techniques, from March to May 2010, and the determinations of metals were made in an atomic absorption spectrophotometer with flame atomization system. The results indicated that the metals copper, manganese and zinc similar to those found in large urban centers. The results obtained for cadmium, lead and nickel were very close to or even below, the detection limit of the method used, preventing the quantification of cumulative effects safely. Points P1 (João Pessoa avenue), P3 and P4 (Tenente Coronel Brito street) are the worst air quality, mainly due to the high concentration coefficient determined for zinc. Moreover, the points P3 and P4 have the highest concentration factor for copper.

Keywords: *Tillandsiaaeranthos*. Bioindicators. Air pollution. Santa Cruz do Sul-RS.

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica caracteriza-se pela presença de gases e/ou partículas no ar, em concentrações elevadas o suficiente para gerar mudanças significativas na qualidade ambiental (USEPA, 2011). Segundo SIAM (2014), a resolução nº 3 de 1990 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), um poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; e/ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades

¹Universidade de Santa Cruz do Sul, Av. Independência, 2293, CEP 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

²Autor para correspondência: adilson@unisc.br

normais da comunidade.

Apesar de esses poluentes serem também liberados à atmosfera por fenômenos naturais, como em erupções vulcânicas e tempestades de ventos, normalmente o termo poluição é determinado àqueles fenômenos associados à atividade humana, denominado poluição antropogênica (USEPA, 2011; Manahan, 2001).

Os poluentes atmosféricos são classificados em partículas e gases. Partículas incluem pequenas partículas sólidas e líquidas, tais como poeira, fumaça, areia, pólen, neblina e cinzas. Gases incluem substâncias como o monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO₂) e compostos orgânicos voláteis (COV) (Manahan, 2001).

Além disso, os poluentes atmosféricos podem ser divididos em duas grandes categorias, poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são aqueles adicionados diretamente a atmosfera como resultado de um determinado processo. Poeira, fumaça, e uma variedade de produtos químicos tóxicos, como chumbo, mercúrio, o cloreto de vinila e de monóxido de carbono são apenas alguns exemplos. Os poluentes secundários são formados na atmosfera, como resultado de reações (fotoquímicas ou não) de poluentes primários entre si, ou com gases e vapores da atmosfera. A chuva ácida e o smog são exemplos deste tipo de poluição (USEPA, 2011; Manahan, 2001).

Os efeitos nocivos da poluição atmosférica à saúde da população têm cada vez mais chamado a atenção da comunidade científica, especialmente aquela associada às emissões veiculares em grandes centros urbanos (Habermann *et al.* 2011). Diferentes estudos têm identificado correlações estatisticamente significantes entre os poluentes atmosféricos e o aumento na mortalidade e nas internações de crianças e idosos, por causas respiratórias e cardiovasculares (p.ex., Gouveia *et al.* 2003, 2006; Castro *et al.* 2009; Ignottiet *et al.* 2010).

No entanto, os problemas de poluição por emissões veiculares também podem ser significativos em regiões menos populosas, como no Vale do Rio Pardo, interior do estado do Rio Grande do Sul, onde se observa, a exemplo de outras regiões do país, um crescimento acentuado da frota de veículos. Segundo o DETRAN/RS (Departamento Nacional de Trânsito) a frota do Vale do Rio Pardo aumentou em mais de 50 mil veículos (110 mil para 160 mil) entre os anos de 2004 e 2011. Em Santa Cruz do Sul o aumento da frota de veículos entre janeiro de 2004 e junho de 2011 foi de 41,7% apresentando atualmente uma frota de 67.930 veículos, correspondendo a um índice de motorização de 57,1 veículos a cada 100 habitantes.

A ação antrópica sobre o meio ambiente não é um fenômeno a ser entendido apenas do ponto de vista ambiental. Na verdade, trata-se de uma relação complexa, originada por demandas individuais e coletivas, que se fundamentam em aspectos psicológicos, culturais e sociais, e cujos reflexos são observados do modo como são explorados os elementos da matriz de recursos naturais disponíveis. Essa constatação requer a capacidade de entender esse fenômeno em todas as suas dimensões e de medir adequadamente seus efeitos em cada uma das dimensões consideradas (Maia *et al.* 2001).

Deste modo, existem diversas pesquisas que utilizam organismos como bioindicadores para estudos da qualidade do ar, da água e do solo, mostrando resultados positivos e satisfatórios quanto à utilização destes organismos indicadores (Lobo *et al.* 2002; Carvalho, 2005; Oliva e Figueiredo, 2005; Bagatini *et al.* 2007; Lima *et al.* 2007; Bujokas, 2008).

Plantas epífitas do gênero *Tillandsia* (Bromeliaceae) têm sido bastante utilizadas como organismos bioindicadores de qualidade ambiental. Segundo Malm *et al.* (1998), este gênero é formado por espécies que apresentam crescimento lento, e com grande habilidade para obtenção de água e nutrientes da atmosfera. Além disto, suas características morfológicas e fisiológicas permitem sua fixação em diferentes substratos de áreas urbanas (tais como fios elétricos, muros, telhados e árvores), permitindo sua ocorrência em praticamente toda uma área em estudo. Estas propriedades tornam estas plantas muito úteis em programas de monitoramento de poluição atmosférica, pois além de assimilar água e nutrientes da

atmosfera, acumulam poluentes.

A utilização de amostradores ativos de grandes volumes, amostradores passivos e o biomonitoramento são os métodos de monitoramento da poluição atmosférica por metais mais citados na literatura (USEPA, 1999a, 1999b; Wolterbeek, 2002; Nunes *et al.* 2005; Brait e Filho, 2010).

Nos amostradores ativos de grandes volumes, uma bomba força um fluxo de ar através de um meio responsável pela retenção dos poluentes atmosféricos. Os poluentes são retidos por sistemas de adsorção, absorção, por filtração e/ou reações. Posteriormente as amostras são levadas para laboratório onde são extraídas do sistema de retenção utilizado e determinadas as concentrações dos poluentes de interesse. Nunes *et al.* (2005) utilizaram amostradores deste tipo com filtros Whatman 41[®] (150 mm), e um fluxo de ar de 0,5 m³ min⁻¹. Os poluentes retidos nos filtro foram extraídos com água deionizada e as concentrações de espécies catiônicas e aniônicas foram posteriormente determinadas por cromatografia de íons.

Diferente dos amostradores ativos, nos passivos a amostragem ocorre naturalmente, por difusão molecular, durante um período de tempo previamente determinado. Brait e Filho (2010) utilizaram filtros de papel recobertos com cera polimetilênica como sistema de amostragem passiva para o monitoramento de metais como Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), além de particulados totais em Goiânia (GO, Brasil).

Segundo Wolterbeek (2002), o biomonitoramento pode ser definido como o uso de bio-organismos ou biomateriais para obter informações quantitativas sobre determinadas características da biosfera. As informações relevantes no biomonitoramento (com plantas ou animais) são geralmente deduzidas a partir das concentrações de substâncias específicas acumuladas no tecido do organismo monitorado (denominados organismos bioindicadores de acumulação); ou por mudanças de comportamento do organismo (impactos na composição ou riqueza de espécies, na fisiologia, na morfologia e/ou no desempenho ecológico), denominados organismos bioindicadores de reação.

Além disso, projetos de biomonitoramento podem ser passivos, quando os organismos bioindicadores se desenvolvem de forma natural no ambiente em estudo, ou ativos, quando são propositalmente introduzidos (Ellenberg, 1991).

Apesar de algumas formas de biomonitoramento utilizarem animais bioindicadores, tais como aves (Gomes *et al.* 2009) e peixes (Schulz e Martin-Junior, 2001), estudos utilizando plantas são muito mais frequentes, principalmente pela facilidade de cultivo e por motivos éticos associados ao sacrifício de animais. Além disto, o biomonitoramento com vegetais é menos oneroso, permitindo assim a seleção de um maior número de sítios de amostragem (Silva *et al.* 2000).

Carreras *et al.* (2009) utilizaram as espécies *Usneaamblyoclada*, *Ramalinacelastris*, além de *Tillandsiacapillaris* como organismos bioindicadores ativos de acumulação de metais de transição na área urbana de Córdoba, Argentina. Os resultados obtidos pelos autores permitiram correlacionar à ocorrência de doenças respiratórias em crianças com as concentrações de metais acumulados em *Ramalinacelastris* e *Tillandsiacapillaris*, comprovando sua eficiência na avaliação da exposição humana a poluição atmosférica por metais. Estudos semelhantes já haviam sido desenvolvidos nesta área de estudo por Pignataet *al.* (2002).

Dragunskiet *al.* (2009) utilizaram as espécies de bromeliáceas *Tillandsiapohlana* Mez e *Tillandsiastreptocarpa* Baker como bioindicadores de acumulação de Níquel (Ni), Potássio (K), Cr, Zn, Cu e Pb no monitoramento da qualidade do ar na cidade de Umuarama (PR, Brasil). Estudo semelhante foi feito por Nogueira (2006), na cidade de São Paulo, onde as amostras de *Tillandsiausneoides* foram coletadas em local não poluído e expostas durante dois meses em dez diferentes regiões da cidade, permitindo correlacionar os metais acumulados com as diferentes atividades antropogênicas de cada sítio de amostragem.

A espécie *Tillandsiaaeranthos* foi utilizada por Koga (2007) no monitoramento da poluição atmosférica por metais como Cd, Pb, Cu, Ni e Fe no município de Rio Grande, RS, Brasil. Neste estudo *T. aeranthos* foi utilizada como bioindicador passivo de acumulação em sete sítios amostrais representativos da zona central, suburbana, distrito industrial e área rural do município de Rio Grande, onde foram coletadas três plantas que cresciam naturalmente. Os resultados demonstraram que os metais Cd, Pb, Cu e Ni apresentam-se enriquecidos no ambiente por fontes antrópicas superando em várias vezes os valores considerados como *background* local.

Strehle Lobo (1989) mediram e compararam uma série de características morfológicas de *T. aeranthos* e *Tillandsiarecurvata* em sete diferentes áreas da cidade de Porto Alegre, RS, de 1983 a 1985, a fim de estabelecer a influência da poluição urbana. As áreas foram divididas seguindo três critérios: (a) importantes avenidas com intenso tráfego de veículos, (b) Habitação: prédios, casas e indústrias e (c) cobertura vegetal. Os resultados indicaram que ambas as epífitas foram afetadas pela poluição causando grande desenvolvimento da parte vegetativa da planta ou inibição da parte reprodutiva. *T. aeranthos* foi mais resistente à poluição urbana, diminuindo sua frequência da área periférica da cidade até a área central. Já *T. recurvata* foi mais sensível à poluição urbana, desaparecendo nas áreas centrais da cidade.

A Tabela 1 resume os resultados obtidos em alguns estudos desenvolvidos com a utilização de bioindicadores de acumulação em áreas de impacto antropogênico. Nesta tabela são citados apenas parte dos resultados apresentados nestas referências, os quais foram selecionados em função do escopo deste estudo. Na Tabela 2, apresentam-se os resultados obtidos, em áreas livres de influência antropogênica na qualidade do ar, e por isso, utilizados como valores de controle, pelos respectivos autores.

Nesse contexto, o objetivo principal deste estudo foi testar um projeto piloto de biomonitoramento da poluição atmosférica por metais na região central da cidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, utilizando *Tillandsiaaeranthos* como organismo bioindicador passivo.

Tabela 1. Resultados apresentados por outros estudos na utilização de diferentes organismos bioindicadores de poluição atmosférica por metais.

REFERÊNCIAS	ORGANISMO BIOINDICADOR	Cd mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Co mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
Carreras et al. (2009)	<i>Usnea amblyoclatada</i>			0,06 a 0,23	11,16 a 6,80	401,4 a 919,2	40,25 a 63,82	1,94 a 2,67	9,71 a 14,82	29,51 a 182,5
	<i>Ramalina celastri</i>				10,41 a 175,5	12,25 a 1310	36,53 a 212,9	1,80 a 11,71	46,88 a 3,23	40,2 a 303,4
	<i>Tillandsia capillaris</i>				4,86 a 64,08	1193 a 3790	58,88 a 166,7	0,98 a 3,52	3,33 a 27,33	15,51 a 92,06
Dragunski et al. (2009)	<i>Tillandsia pohliana</i>				0,87 a 1,03	24,55 a 29,29			0,01 a 0,07	0,36 a 1,49
	<i>Tillandsia streptocarpa</i>		<0,1		0,77 a 0,83	31,42 a 53,07		0,03	<0,1	0,008 a 0,04
Koga (2007)	<i>Tillandsia aeranthos</i>	0,60 a 1,22			10,18 a 30,10	18,60 a 23,50		8,73 a 22,6	4,36 a 11,41	
Nogueira (2006)	<i>Tillandsia usneoides*</i>	0,12 a 0,88	1,3 a 3,7	0,36 a 5,2	4,3 a 56	683 a 1189	135 a 234	2,3 a 18,0	6,2 a 11,1	54 a 102
	<i>Tillandsia usneoides**</i>	0,28 a 2,42	1,0 a 2,0	0,61 a 1,73	11,8 a 42,3	768 a 1155		4,1 a 13,2	7,1 a 22,0	65 a 189
Pignata et al. (2002)	<i>Tillandsia capillaris</i>				1,9 a 3,0	1983,8 a 660,4	92,61 a 243,13	0,76 a 1,27	0,28 a 0,46	2,2 a 14,15

* Resultados obtidos pelo autor em coletas realizadas no período dentre abril e maio de 2002.

** Resultados obtidos pelo autor em coletas realizadas no período dentre fevereiro e abril de 2004.

Tabela 2. Resultados apresentados por outros estudos na utilização de diferentes organismos bioindicadores em áreas de controle.

REFERÊNCIAS	ORGANISMO BIOINDICADOR	Cd mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Co mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
Koga (2007)	<i>Tillandsia aeranthos</i>	0,13±0,01			2,03±0,07	14.000±2.600		1,19±0,14	2,03±0,07	
Carreras et al. (2009)	<i>Usnea amblyoclatada</i>			0,072±0,004	4,26±0,56	226,1±10,7	35,45±8,48	1,05±0,18	3,28±5,36	42,3±15,46
	<i>Ramalina celastri</i>			0,30±0,09	11,32±3,30	887±192	25,80±6,75	1,50±0,66	2,13±0,75	43,99±20,27
	<i>Tillandsia capillaris</i>			0,408±0,163	4,89±0,67	929,0±182,1	64,02±1,30	1,04±0,11	3,18±0,93	14,87±0,59
Nogueira (2006)	<i>Tillandsia usneoides*</i>	0,11	1,3±0,1	0,25	2,7±0,3	650±12	244±8	1,8	4,1	41±1
	<i>Tillandsia usneoides**</i>	0,17	0,8±0,1	0,40	6,5	926±18		3,1	4,6	52,3

* Resultados obtidos pelo autor em coletas realizadas no período dentre abril e maio de 2002.

** Resultados obtidos pelo autor em coletas realizadas no período dentre fevereiro e abril de 2004.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido no município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, o qual se caracteriza por uma população de 121.060 habitantes, estimativa registrada em 2013 (FEE, 2014). Com uma área territorial de 733,5 km², Santa Cruz do Sul é o principal município do Vale do Rio Pardo, região central do estado do Rio Grande do Sul, cuja economia está embasada na cultura e processamento do tabaco, juntamente com indústrias que atingiram em 2013, valores de exportação da ordem de U\$ 1.527.698.091.

Ao todo foram selecionados oito sítios de amostragem, distribuídos em seis ruas/avenidas principais. A Figura 1 descreve a localização do município de Santa Cruz do Sul no estado do Rio Grande do Sul e a Figura 2, apresenta um mapa parcial da área central do município e a localização dos sítios de amostragem.

Além destes sítios de amostragem, um nono ponto de amostragem foi selecionado como controle (CT). Este ponto está localizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural da UNISC (RPPN-UNISC), no interior do município de Sinimbu, município vizinho a Santa Cruz do Sul.

As coletas e os procedimentos de análises foram realizados durante os meses de março a maio de 2010. As amostras de *Tillandsiaaeranthos* foram coletadas em árvores, utilizando técnicas manuais. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportados para o laboratório.

Os indivíduos selecionados eram sadios, apresentavam características típicas desta espécie de bromélia, caracterizando-se por florífero de 15 a 20 cm de altura, com rizoma forte, curto e arcadamente caulescente. Apresentavam folhas em grande número cobrindo densamente o caule, as exteriores arcadamente de curvas, as médias e interiores suberetas ou eretas; bainhas evidente, curta, membranáceo-transparente; lâmina estreitamente triangular, estreitando-se desde a base até o ápice, bem acanalado-côncava, aproximadamente 12 cm de comprimento, conforme descrito por Reitz (1983). A Figura 3 apresenta a imagem de uma amostra coletada na área de estudo.

90 **Figura 1.** Mapa do município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, destacando a localização da área urbana do município.

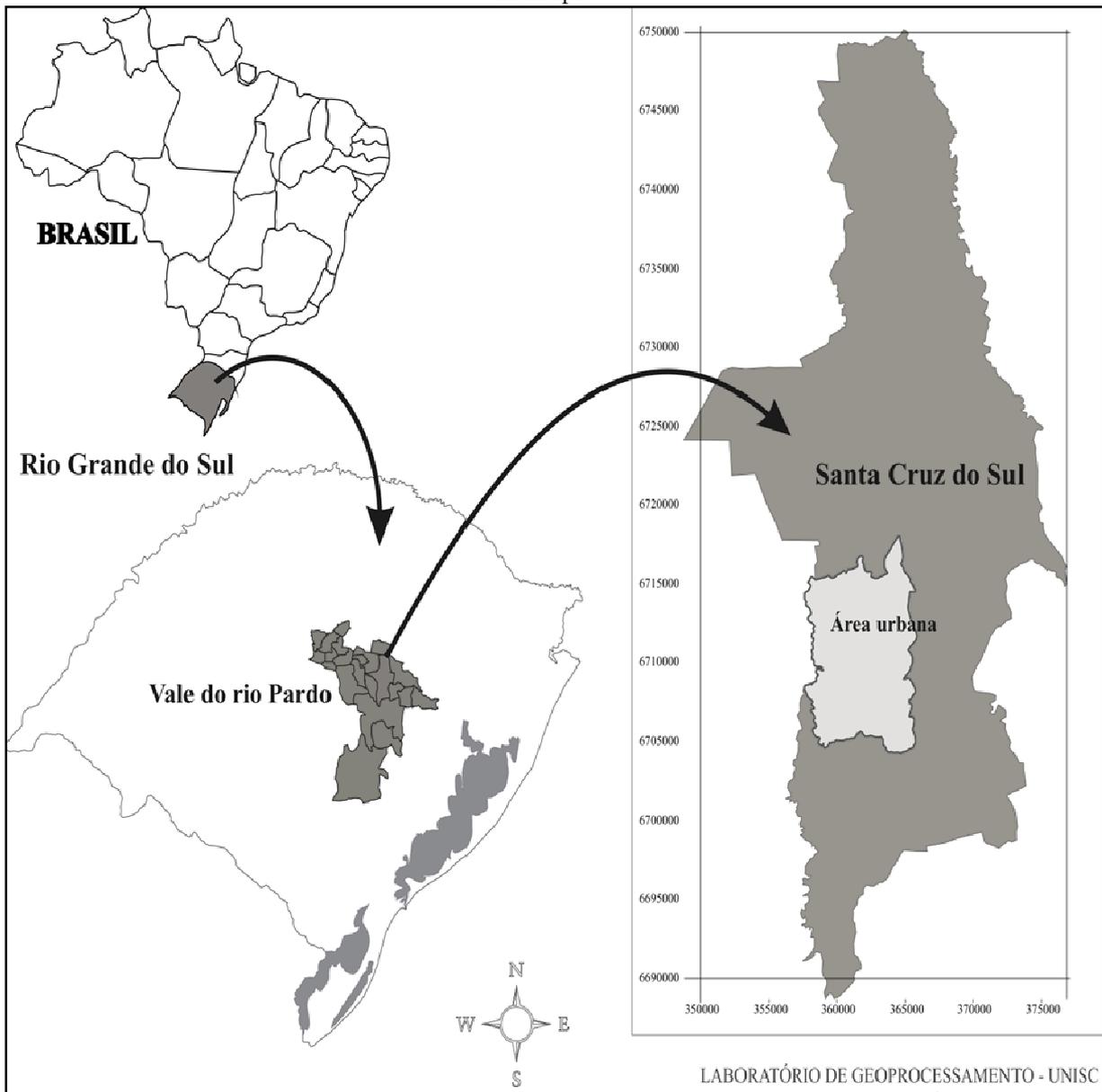


Figura 2. Mapa parcial da área central de Santa Cruz do Sul e localização dos sítios de amostragem.

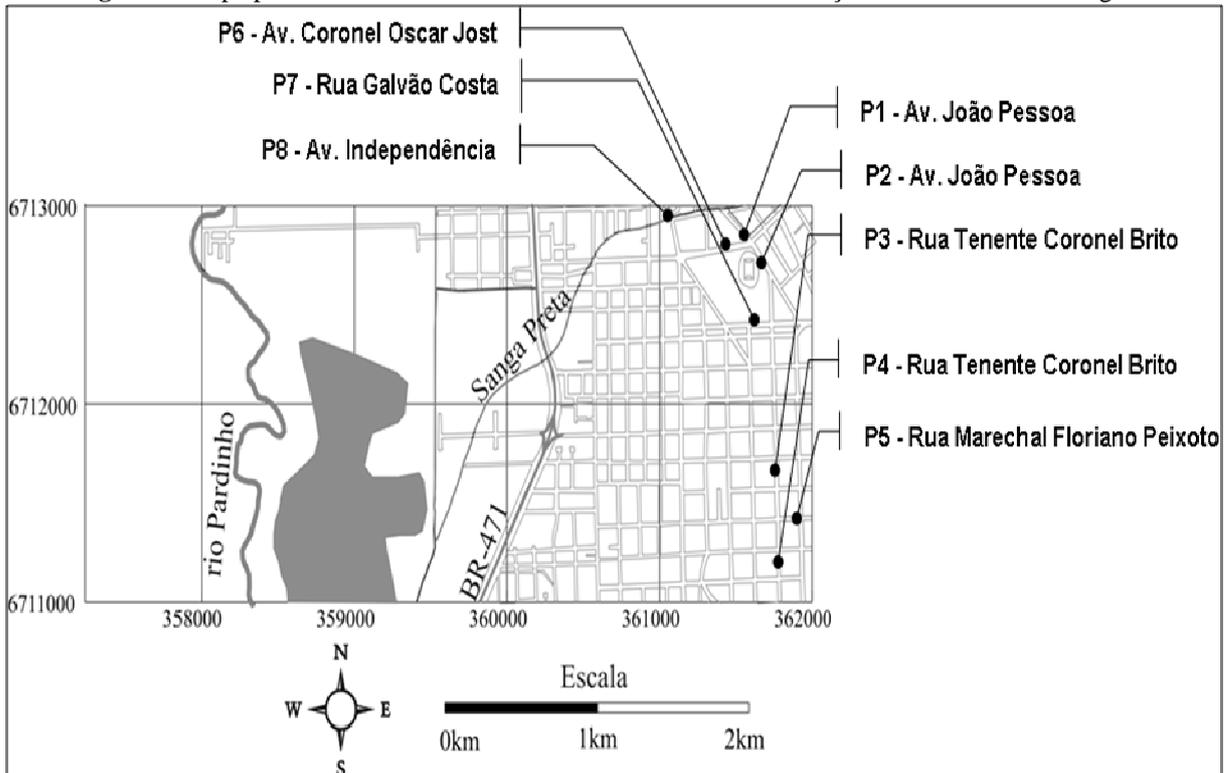


Figura 3. Imagem de uma das amostras de *Tillandsiaaeranthos* (Loiseleur) L. B. Smith, coletadas na área de estudo1.



No dia seguinte à coleta as amostras foram lavadas com água deionizada para remover qualquer matéria depositada sobre as folhas. As amostras foram secas em estufa à 70°C por 12 horas até peso constante. Posteriormente as amostras foram moídas e com o auxílio de grau de pistilo e armazenadas em dessecador.

Na etapa de decomposição das amostras, massas de 0,4 g de amostra foram transferidas para frascos de decomposição de Teflon[®], e adicionado 8 ml de ácido nítrico P.A. Os frascos foram fechados e o processo de decomposição foi executado em estufa a 110°C por 12 horas. Ao final da decomposição das amostras foi adicionar 0,5 ml de peróxido de hidrogênio 30%. O conteúdo final de cada frasco de decomposição foi transferido para balões volumétricos de 25 ml e avolumado com água deionizada (Krug, 2008). Todas as amostras foram analisadas em duplicata.

As determinações de metais foram feitas em um espectrofotômetro de absorção atômica com sistema de atomização por chama (Spectr AA 55, Varian, Austrália), e as condições de operação do espectrômetro foram ajustadas conforme orientações do fabricante.

A Tabela 3 indica os valores de limite de detecção (LD = três vezes o desvio padrão de uma série de dez amostras de branco) e quantificação (LQ = dez vezes o desvio padrão de uma série de dez amostras de branco) obtidas para os seis elementos determinados. Os valores em mg l⁻¹ correspondem aos LD e LQ em mg por mililitro de solução (25 ml) e os valores em mg kg⁻¹ correspondem aos LD e LQ em mg por kg de amostra.

Tabela 3. Valores de limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) obtidos na determinação de Cd, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn.

ELEMENTOS	LIMITE DE DETECÇÃO		LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO	
	mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg kg ⁻¹
Cd	0,005	0,31	0,016	1,02
Cu	0,016	1,03	0,055	3,42
Mn	0,013	0,80	0,043	2,68
Ni	0,021	1,20	0,069	3,99
Pb	0,046	2,66	0,153	8,86
Zn	0,012	0,77	0,041	2,57

2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para interpretação dos resultados foi determinado o coeficiente de concentração (Kc) nos oito pontos de amostragem. Este coeficiente corresponde à razão entre a concentração dos metais nas amostras dos diferentes sítios da área central (Pi) e a concentração destes metais na amostra de controle (CT), Equação 1.

(Eq. 1)

$$Kc = \frac{Pi}{CT}$$

Desta forma, valores de coeficiente de concentração próximos a unidade sugerem a ausência de bioacumulação de um poluente. Segundo Rahnet *al.* (1979), valores de Kc de até 1,5 estão associados, principalmente, a fenômenos naturais de exposição ao elemento químico acumulado, como por intemperismo. Já, valores de Kc superiores a 4 são, inequivocamente associados a fontes antropogênicas (Duceet *al.* 1975; Rahnet *al.* 1979).

Além disto, foi utilizada a estatística descritiva para tabulação e ilustração gráfica dos resultados, bem como a determinação das medidas de tendência central e dispersão dos resultados. A análise de agrupamento hierárquico foi utilizada para agrupar os sítios de amostragem em função da similaridade nas concentrações dos metais determinados,

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na determinação de metais nas amostras de *Tillandsiaaeranthos* coletadas nos oito sítios de amostragem na área central da cidade de Santa Cruz do Sul, bem como os resultados na amostra de controle, coletada na RPPN-UNISC estão organizados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados obtidos (média \pm desvio padrão, n=2) para Cd, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn nos oito sítios de amostragem na área central da cidade de Santa Cruz do Sul e no sítio de controle.

Sítios de amostragem	Cd mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹
P1	0,3 \pm 0,1	7,88 \pm 0,45	64,2 \pm 1,2	<1,2	<2,7	304,4 \pm 2,2
P2	0,4 \pm 0,2	6,12 \pm 0,28	55,7 \pm 1,3	<1,20	<2,7	25,3 \pm 1,2
P3	0,4 \pm 0,1	18,72 \pm 0,44	59,8 \pm 2,0	1,6 \pm 0,1	<2,7	294,1 \pm 2,0
P4	0,4 \pm 0,2	15,76 \pm 0,40	61,2 \pm 1,7	1,2 \pm 0,1	<2,7	199,1 \pm 2,5
P5	0,4 \pm 0,1	6,01 \pm 0,30	25,0 \pm 0,7	<1,20	<2,7	20,7 \pm 0,2
P6	<0,3	4,96 \pm 0,20	52,4 \pm 1,2	<1,20	<2,7	28,0 \pm 0,2
P7	0,4 \pm 0,1	4,13 \pm 0,32	213,4 \pm 5,1	<1,20	<2,7	31,8 \pm 0,3
P8	0,4 \pm 0,1	4,84 \pm 0,38	76,3 \pm 1,1	<1,20	<2,7	31,4 \pm 0,9
Controle (CT)	<0,3	2,72 \pm 0,18	39,7 \pm 0,2	<1,20	<2,7	5,8 \pm 0,2

Os resultados no sítio de controle foram semelhantes aos resultados obtidos por outros autores, como Carreras *et al.* (2009), Nogueira (2006) e Koga (2007) (Tabela 2), podendo inferir, portanto, que o sítio de amostragem selecionado como controle apresenta-se livre de poluição antropogênica.

A concentração de cobre, manganês e zinco nas amostras de *T. aeranthos* da área central permitiram identificar o acúmulo dos metais, em níveis semelhantes aos encontrados em grandes centros urbanos. As concentrações de cobre, nos pontos P3 e P4, e manganês, no ponto P7, foram, por exemplo, semelhantes aos resultados obtidos por Nogueira (2006) na cidade de São Paulo, em áreas impactadas por diferentes atividades antropogênicas. No entanto, os resultados mais preocupantes foram os apresentados para zinco nos pontos P1, P3 e P4, cuja concentração foi superior os resultados obtidos em outros centros urbanos, como Córdoba (Argentina), São Paulo (SP) e Rio Grande (RS) (Carreras *et al.* 2009; Nogueira, 2006; Koga, 2007).

Os resultados para cádmio, chumbo e níquel foram muito próximos, ou mesmo inferiores, ao limite de detecção do método utilizado, impedindo a quantificação de efeitos acumulativos de forma segura. Assim, a Figura 4 apresenta os coeficientes de concentração (Kc), que correspondem a razão entre a concentração dos metais cobre, manganês e zinco nas amostras dos diferentes sítios da área central (Pi) e a concentração destes metais na amostra de controle (CT).

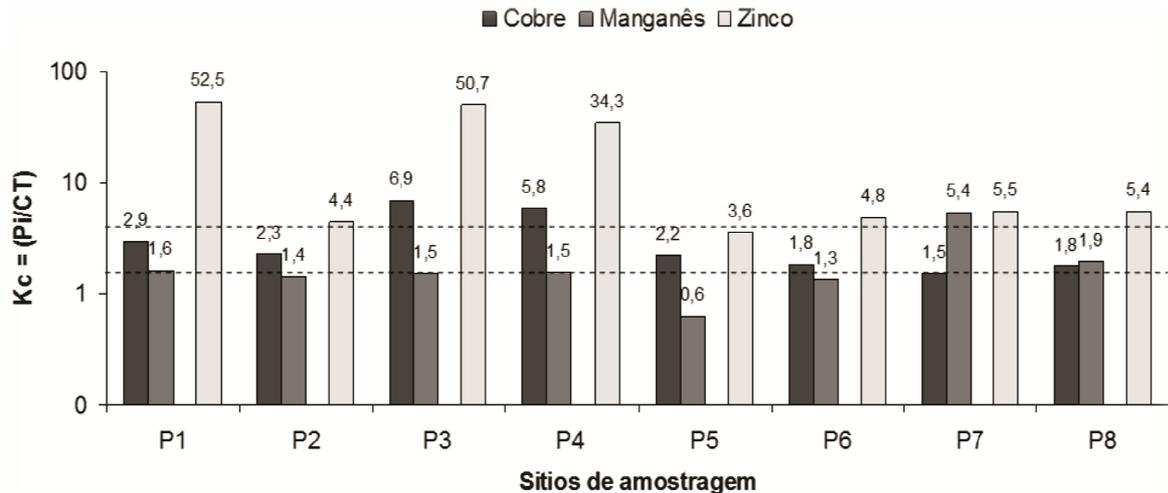


Figura 4. Coeficientes de concentração (K_c) de metais nos oito sítios de amostragem. As linhas pontilhadas indicam os limites de K_c de 1,5 e 4,0 definidos por Duceet *al.* (1975) e Rahnet *al.* (1979).

De forma geral os resultados apresentados na Figura 4 comprovam o acúmulo dos metais cobre, manganês e zinco nas amostras de *T. aeranthos* coletadas na área central da cidade quando comparadas à área de controle, permitindo comprovar que os pontos P1 (Avenida João Pessoa), P3 e P4 (Rua Tenente Coronel Brito) são os de pior qualidade do ar, principalmente em função do elevado coeficiente de concentração determinado para zinco. Além disto, os pontos P3 e P4 apresentam os maiores coeficientes de concentração para cobre.

A Figura 5 apresenta o dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos sítios de amostragem em função dos resultados apresentados para cobre, manganês e zinco, identificando a maior similaridade entre os pontos P1, P3 e P4. O mesmo dendrograma permite identificar que o ponto P5 apresenta características mais semelhantes as do sítio de controle (CT). De fato, dos oito sítios de amostragem, apenas o P5 (Rua Marechal Floriano Peixoto) apresenta valores de K_c , acima do qual, pode-se atribuir este enriquecimento a fontes antrópicas de poluição (Duceet *al.* 1975; Rahnet *al.* 1979).

O sítio de amostragem P2 (Avenida João Pessoa) apesar de estar na mesma Avenida do sítio P1 apresenta valores inferiores de coeficiente de concentração, o que é explicado pelo fato de que o fluxo de veículos da região norte para a região sul (de P1 para P2) é distribuído para outras vias, especialmente para a Avenida Coronel Oscar Jost (Figura 2). Além disto, o semáforo instalado no cruzamento entre a Avenida Coronel Oscar Jost e Avenida João Pessoa (entre P1 e P2) aumenta o tempo de residência dos veículos no Ponto 1, contribuindo para a pior qualidade do ar.

A presença destes metais na área central da cidade de Santa Cruz do Sul pode estar associada a diferentes fontes de poluição, no entanto, muitos estudos responsabilizam as emissões veiculares como a principal responsável pela poluição atmosférica por metais em centros urbanos (Strehl e Lobo, 1989; Habermann *al.* 2011; Wannaz e Pignata, 2006).

Segundo Cadleet *al.* (2001), a liberação de materiais particulados por escapamentos de veículos é fortemente dependente do combustível utilizado, bem como do óleo lubrificante e do desgaste de rolamentos e peças dos motores. Esta origem é ainda mais preocupante quando associada à frota em mau estado de conservação, combustíveis de má qualidade, motores e mecanismos de filtragem dos gases precários, pois traz como consequência o aumento dos níveis de concentração da poluição atmosférica (Brasil, 2014).

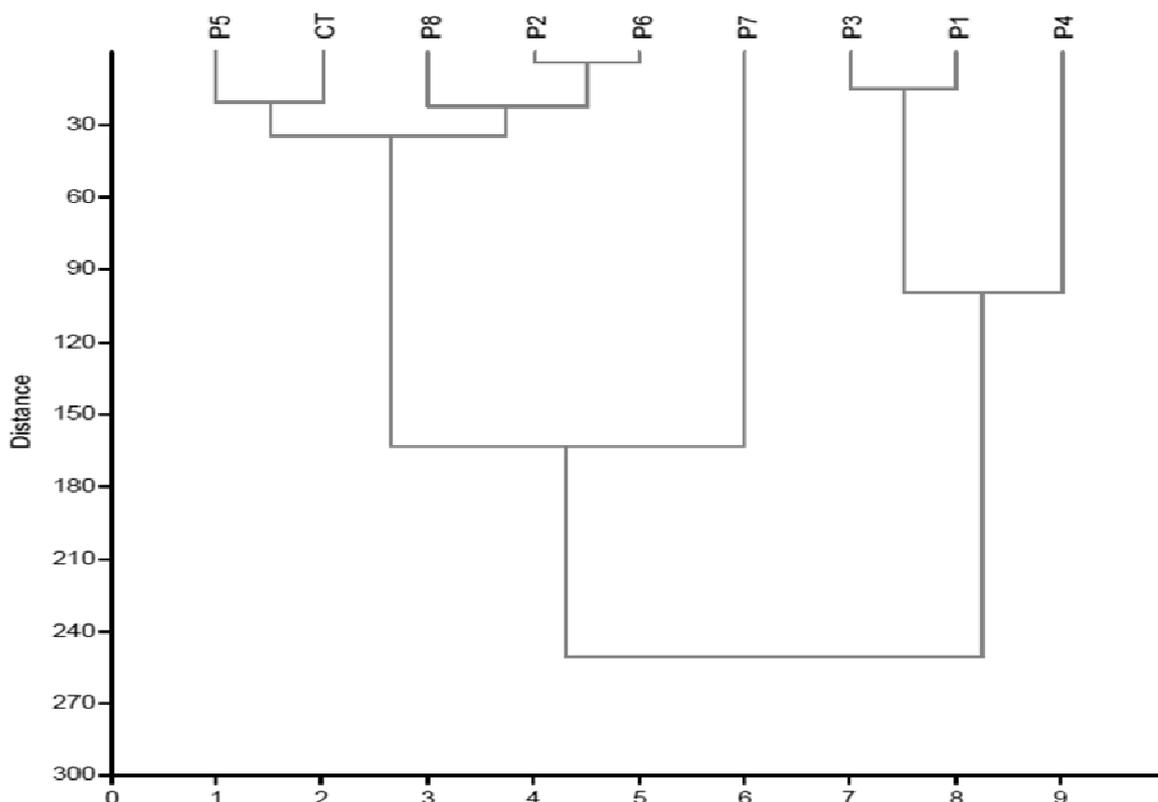


Figura 5. Dendrograma de agrupamento dos sítios de amostragem em função dos resultados apresentados para cobre, manganês e zinco.

A presença de metais nos combustíveis está associada a sua origem, processo de fabricação ou refino, bem como a forma de transporte e armazenamento. Os metais Zn, Ni, Cu e Fe são alguns dos principais metais encontrados nos combustíveis, em função da forma e condições de armazenamento (Carvalho *et al.* 2000; Teixeira *et al.* 2006). Segundo Silveira *et al.* (2010), zinco e chumbo são adicionados aos lubrificantes como aditivos (antioxidantes e agentes de extrema pressão, respectivamente). Da mesma forma, metais como cobre, chumbo, níquel, alumínio e ferro estão presentes em diferentes peças de motores e dos veículos (geralmente na forma de ligas), tais como rolamentos, buchas, mangueiras, gaiolas de rolamento e válvulas (Mckenzie, 1981).

4 CONCLUSÃO

No desenvolvimento deste estudo foi possível observar a eficiência da *T. aeranthos* como organismo bioindicador de poluição atmosférica, especialmente no desenvolvimento de diagnósticos preliminares de qualidade do ar. O baixo custo desta metodologia contribui para sua adoção em programas de monitoramento, passivo ou ativo, permitindo a instalação de inúmeros sítios de amostragem, corroborando para a maior exatidão na identificação de ponto críticos de poluição.

Os resultados obtidos neste estudo permitiram identificar a ocorrência de problemas de poluição atmosférica por Zn, Cu e Mn na área central da cidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, em níveis semelhantes aos encontrados em centros urbanos maiores. Desta forma, os resultados desta pesquisa exploratória verificaram a necessidade do desenvolvimento de programas contínuos de monitoramento da qualidade do ar, visando produzir informações científicas quanto aos riscos desta exposição, e chamar a atenção das autoridades competentes para a adoção de políticas públicas que visem conciliar o desenvolvimento econômico e

REFERÊNCIAS

- BAGATINI, M.D., SILVA, A.C.F. & TEDESCO, S.B. Uso do sistema teste de *Allium cepa* como bioindicador de genotoxicidade de infusões de plantas medicinais. Rev. Bras. Farmacogn. Braz J. Pharmacogn., 17(3): 444/447, 2007.
- BRAIT, C.H.H. & FILHO, N.R.A. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. Quím. Nova., 33(1): 7-13, 2010.
- BRASIL. Ministério do meio ambiente. 1º Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. 2011.
- BUJOKAS, W. M. Bioindicadores vegetais – o uso do feijão como alternativa no monitoramento da qualidade do ar de uma fábrica de cimento. In: VI SEMANA DE ESTUDOS DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 2008, Irati. Anais... Irati:Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Unicentro, 2008.
- CADLE, S.H., MULAWA, P. & GROBLICKI, P. In-use light-duty gasoline vehicle particulate matter emissions on three driving cycles. Environ. Sci. Technol., 35(1), 26-32, 2001.
- CARRERAS, H.A., WANNAZ, E.D. & PIGNATA, M.L. Assessment of human health risk related to metals by the use of biomonitors in the province of Córdoba, Argentina. Environmental Pollution, 157(1), 117–122, 2009.
- CARVALHO, F.G.; JABLONSKI, A. & TEIXEIRA, E.C. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. Quím. Nova, 23(5): 614-617, 2000.
- CARVALHO, H.A. A *Tradescantia* como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos clastogênicos das radiações ionizantes. Radiol. Bras., 38(6):459-462, 2005.
- CASTRO, H.A., CUNHA, M.F., MENDONÇA, G.A.S., JUNGER, W.L., CUNHA-CRUZ, J. & LEON, A.P. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. Rev. Saúde Pública, 43(1): 26-34, 2009.
- DETRAN/RS (Departamento Nacional de Trânsito). Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/index.php?action=estatistica&codItem=99>. Acesso em: 10 jul. 2011.
- DRAGUNSKI, D.C., CAIADO, J., FERREIRA, E.L., DELAPORTE, R.H. & JUNIOR, A.L. Uso de bromeliáceas em biomonitoramento atmosférico. Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR, Umuarama, 13(3): 205-209, 2009.
- DUCE, R.A., HOFFMAN, G.L. & ZOLLER, W.H., Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: pollution or natural? Science, 187(4171), 59-61, 1975.
- ELLENBERG, H. Biological Monitoring: Signal from the environment. Berlin: Vieweg & Sohn, 1991.
- FEE/RS, Fundação Estadual de Economia e Estatística. <http://www.fee.rs.gov.br/perfil-socioeconomico/municipios/detalhe/?municipio=Santa+Cruz+do+Sul>. Acesso em: 23 dez. 2014.
- GOMES, A.L., VIEIRA, J.L.F., PINHEIRO, M.C.N. & MARCELIANO, M.L.V. A first evaluation on the use of *Ardea albus* feathers as bioindicators of mercury burden in Amazonian ecosystems. Acta Amaz., 39 (4): 969-971, 2009.
- GOUVEIA, N., MENDONÇA, G.A.S., LEON, A.P., CORREIA, J.E.M., JUNGER, W.L., FREITAS, C.U., DAUMAS, R.P., MARTINS, L.C., GIUSSEPE, L., CONCEIÇÃO, G.M.S., MANERICH, A. & CUNHA-CRUZ, J. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. Epidemiol. Serv. Saúde. 12(1): 29-40, 2003.

- GOUVEIA, N., FREITAS, C.U., MARTINS, L.C. & MARCILIO, I.O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, 22(2):2669-2677, 2006.
- HABERMANN, M., MEDEIROS, A.P.P. & GOUVEIA, N. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. *Rev. Bras. Epidemiol.*, 14(1): 120-130, 2011.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9, 2001.
- IGNOTTI, E., VALENTE, J.G., LONGO, K.M., FREITAS, S.R., HACON, S.S. & NETTO, P.A. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev. Saúde Pública*, 44(1):121-130, 2010.
- KOGA, M. S. Estudo sobre eficiência da espécie *Tillandsiaaeranthos* (Bromeliaceae) a ser utilizada como bioindicador para avaliação da contaminação total da atmosfera por metais pesados (caso do município de Rio Grande, RS). Rio Grande: FURG, 2007. 94p. Monografia (Graduação em Oceanologia)- Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2007.
- KRUG, F. J. Métodos de preparo de amostras: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar. Piracicaba, SP, 2008.
- LIMA, C. V. S., SILVA, A.A., SOUZA, E.D., MEURER, E.J., ANGHINONI, I. & SHIMIDT, R.O. Bioacumulação de chumbo por girassol em argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. 2007. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. Anais... Gramado: 2007.
- LOBO, E.A., CALLEGARO, V.L. & BENDER, P. Utilização de algas diatomáceas como indicadores da qualidade da água em rios e arroios da região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.
- MAIA, N.B., MARTOS, H.L. & BARRELLA, W. Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: Educ-Comped-INEP, 2001.
- MALM, O., FONSECA, M.F., MIGUEL, P.H., BASTOS, W.R. & PINTO, F.N. Use of epiphyte plants as biomonitors to map atmospheric mercury in a gold trade center city, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 213(1-3): 57-64, 1998.
- MANAHAN, S.E. Fundamentals of Environmental Chemistry. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
- MCKENZIE, T. Atomic absorption spectrophotometry for the analysis of wear metals in oil samples. *Varian Instruments at Works: Varian Atomic Absorption*. Australia: Varian Techtron Pty. Limited, 10: 1-9, 1981.
- NOGUEIRA, C.A. Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor. São Paulo: USP, 2006. 110p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2006.
- NUNES, M.J., MCGOVERN, F., SANTOS, S. & RAES, F. Comparação de duas metodologias de amostragem atmosférica com ferramenta estatística não paramétrica. *Quím. Nova*, 28(2): 179-182, 2005.
- OLIVA, M.A. & FIGUEIREDO, J.G. Gramíneas bioindicadoras da presença de flúor em regiões tropicais. *Revista Brasil. Bot.*, 28 (2): 89-397, 2005.
- PIGNATA, M.L., GUDIÑO, G.L., WANNAZ, E.D., PLÁ, R.R., GONZÁLEZ, C.M., CARRERAS, H.A. & ORELLANA, L. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Environmental Pollution*, 120, 59-68, 2002.
- RAHN, K.A., BORYS, R.D., SHAW, G.E., SCHUTZ, L. & JAENICKE, R. Long-range impact of desert aerosol on atmospheric chemistry: two examples. In: Morales C. (ed.). *Saharan Dust: Mobilization, Transport, Deposition*. Chichester: Wiley and Sons, 1979. P. 243-266.

- 98 REITZ, R. Bromeliáceas e a malária - bromélia endêmica. Flora Ilustrada Catarinense. Itajai: 1983.
- SCHULZ, U.H. & MARTINS-JUNIOR, H. *Astyanaxfasciatus* as bioindicator of water pollution of Rio dos Sinos, RS, Brazil. Braz. J. Biol., 61(4): 615-622, 2001.
- SIAM, Sistema Integrado de Informação Ambiental. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. 2014. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41>>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- SILVA, L.C., AZEVEDO, A.A., SILVA, E.A.M. & OLIVA, M.A. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. Revista brasil. Bot., São Paulo, 23(4):385-393, 2000.
- SILVEIRA, E.L.C., COELHO, R.C., NETO, J.M.M., MOURA, C.V.R. & MOURA, E.M. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. Quím. Nova, 33(9): 1863-1867, 2010.
- STREHL, T. & LOBO, E.A. Analysis of the morphological characters of *Tillandsiaaeranthos* (Loisel.)L.B. Smith and *T. recurvata* (L.)L. (Bromeliaceae) as bioindicators of the urban pollution in Porto Alegre City, Southern Brazil. Aquilo Ser. Bot., 27:19-27. 1989.
- TEIXEIRA, L.S.G., BRASILEIRO, J.F., JUNIOR, M.M.B., CORDEIRO, P.W.L., ROCHA, S.A.N. & COSTA, A.C.S. Determinação espectrofotométrica simultânea de cobre e ferro em álcool etílico combustível com reagentes derivados da ferroína. Quím. Nova, 29(4): 741-745, 2006.
- WANNAZ, E.D. & PIGNATA, M.L. Calibration of four species of *Tillandsia* as air pollution biomonitors. Journal of Atmospheric Chemistry 53: 185–209. 2006.
- WOLTERBEEK, H.T. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. Environmental pollution, 120: 11-21, 2002.
- USEPA, United States Environmental Protection. Compendium of Methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio, 1999a.
- USEPA, United States Environmental Protection. Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air. Center for Environmental Research Information, Washington, DC, 1999b.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. Pollutants in the Ambient Air. Disponível em: <http://www.epa.gov/oar/oaqps/eog/course422/ap2.html>. Acesso em: 01 jun. 2011.