

## Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil

Suzana Maria de Azevedo Martins<sup>1,3</sup>, Márcia Isabel Käffer<sup>1</sup> e Alessandra Lemos<sup>2</sup>

Recebido: 30.08.2007; aceito: 09.09.2008

**ABSTRACT** - (Lichens as bioindicators of air quality in an area of thermoelectric power plant, Rio Grande do Sul, Brazil). Lichens are recognized for being very sensitive to atmospheric pollution, so their use as biological indicators of environmental quality has been an ampler procedure. This work shows the results of the passive monitoring realized within the area of a thermoelectric power plant, in the Southern region of Brazil. The lichens were evaluated in five points of the power plant and a total of 50 host-trees were sampled. There were 45 taxa registered, five of them are cited in the literature as bioindicators of air quality. The sampled areas have not presented appropriate conditions for the establishment and development of the lichenized mycota, as they suffer direct anthropic influence. The occurrence of pollution tolerant species can be explained by the disappearance of most sensitive species, providing more space for their development.

**Key-words:** atmospheric pollution, bioindication, lichenized mycota, thermoelectric power plant

**RESUMO** - (Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil). Os líquens são reconhecidos por serem muito sensíveis à poluição atmosférica, sendo assim sua utilização como indicadores biológicos da qualidade ambiental, tem sido um procedimento cada vez mais amplo. Este trabalho apresenta os resultados do monitoramento passivo realizado na área de abrangência de uma usina termoelétrica, na região sul do Brasil. Os líquens foram avaliados em cinco pontos da usina onde foi amostrado um total de 50 forófitos. Foram registrados 45 táxons, cinco destes são citados na literatura como bioindicadores da qualidade do ar. As áreas amostradas não apresentam condições adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento da micota liquenizada, pois sofrem influência antrópica direta. A ocorrência de espécies tolerantes à poluição pode ser explicada pelo desaparecimento das espécies mais sensíveis, proporcionando mais espaço para o seu desenvolvimento.

**Palavras-chave:** bioindicação, micota liquenizada, poluição atmosférica, usina termoelétrica

### Introdução

A poluição atmosférica no ambiente urbano-industrial é um problema existente nos últimos séculos sendo ocasionado, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis e descargas industriais. O acréscimo de veículos automotores e de indústrias aumentou significativamente a concentração de poluentes nestas áreas. Destaca-se o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), metais pesados, oxidantes fotoquímicos como o ozônio (O<sub>3</sub>) e o nitrato de peroxiacetila (PAN). Devido ao incremento desses poluentes no ar, se faz necessário cada vez mais implementar medidas de controle, principalmente nos grandes centros urbano-industriais. Neste sentido, nos últimos anos, o emprego de métodos físicos, químicos

e biológicos para monitorar a qualidade do ar tem se intensificado.

Dentre os organismos biológicos, os líquens mostram alta sensibilidade a poluentes, não somente pela diminuição da sua vitalidade, como por sintomas externos característicos. A grande sensibilidade está estreitamente relacionada com sua biologia. A alteração do balanço simbiótico entre o fotobionte e o micobionte pode ser evidenciada com rapidez através da ruptura desta associação. Anatomicamente, os líquens não possuem estomas nem cutícula, o que significa que os gases e aerossóis podem ser absorvidos pelo talo e difundir-se rapidamente pelo tecido onde está o fotobionte. A ausência destas estruturas tampouco permite excretar as substâncias tóxicas, ou a seleção destas que são absorvidas (Martins-Mazzitelli *et al.* 2006, Valencia & Ceballos 2002).

1. Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Museu de Ciências Naturais, Caixa Postal 1188, 90620-000 Porto Alegre, RS, Brasil

2. Prefeitura de Eldorado do Sul, Estrada da Arrozeira 270, 92990-000 Eldorado do Sul, RS, Brasil

3. Autor para correspondência: suzana.martins@fzb.rs.gov.br

Os líquens são reconhecidos por serem muito sensíveis à poluição atmosférica e, desde o século 19, são utilizados como bioindicadores, sendo objeto de vários trabalhos que visam o controle das alterações atmosféricas em vários locais (Hawksworth *et al.* 1973, Marcelli 1998, Scutari & Theinhardt 2001, Kricke & Loppi 2002, Valencia & Ceballos 2002, Calvelo & Liberatore 2004, Giordano *et al.* 2005, Wolseley *et al.* 2006, Munzi *et al.* 2007). Muitas espécies são sensíveis aos dióxidos de nitrogênio e enxofre, assim como a metais pesados, compostos que podem estar presentes em maior ou menor grau na atmosfera de áreas industriais (Baddeley *et al.* 1973, Schlensoeg & Schroeter 2001, Nimis & Purvis 2002, Minganti *et al.* 2003, Rinino *et al.* 2005, Mikhailova 2007). Alterações na estrutura da comunidade líquênica como frequência, cobertura, diversidade e vitalidade das espécies estão relacionadas com a concentração de poluentes na atmosfera (Hawksworth 1973, van Haluwyn & van Herk 2002).

Dentre os efeitos que os poluentes podem ocasionar na comunidade líquênica estão à inibição do crescimento e desenvolvimento do talo, alterações nos processos metabólicos e mudanças anatômicas e morfofisiológicas (Barkman 1958, Baddeley *et al.* 1973, Coppins 1973, Gries 1996, Schlensoeg & Schroeter 2001). O componente algáceo (fotobionte) do líquen é o primeiro a ser afetado ocorrendo o desenvolvimento das anormalidades no talo, como o branqueamento da clorofila e o desenvolvimento de áreas pardas nos cloroplastos. A clorofila se degrada em feofitina pela ação de soluções de dióxido de enxofre ainda que em baixas concentrações (Barkman 1958, Bargagli & Mikhailova 2002).

Dos diferentes métodos empregados para monitorar a qualidade do ar, o monitoramento passivo consiste na análise das espécies vegetais existentes no local onde se quer avaliar as condições atmosféricas, no caso específico o estudo fitossociológico da micoflora líquenizada local. Para tanto se faz necessário levantar dados quanto à abundância, cobertura e frequência de cada espécie líquênica. Este método proposto por Le Blanc & De Sloover (1970) tem sido amplamente utilizado para avaliar a micota líquenizada em ambientes urbano e/ou industrial (Hawksworth *et al.* 1973, Nimis *et al.* 1989, Wetmore 1989, Loppi 1996, Estrabou 1998, Marcelli 1998, Geebelen & Hoffmann 2001, Scutari & Theinhardt 2001, Kricke & Loppi 2002, Saiki *et al.* 2003, Calvelo & Liberatore 2004). Deste modo este estudo teve por objetivo apresentar os resultados do monitoramento passivo realizado

numa área urbano-industrial, na região metropolitana, no sul do Brasil.

## Material e métodos

O trabalho foi realizado durante o ano de 2003, na área de abrangência de uma usina termoeletrica localizada no município de Canoas, entre as coordenadas 42°80'S e 66°54'W, a oeste da BR 116, ao sul da BR 386 e distante aproximadamente 20 km da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

A região metropolitana de Porto Alegre compreende em torno de 23 municípios, é caracterizada por uma área urbano-industrial densamente povoada e constituída por estreita ligação funcional e por fluxos de deslocamento de pessoas entre seus municípios (EIA/RIMA 2000). A região de abrangência caracteriza-se por apresentar áreas alteradas desde a década de 40, onde as matas ciliares e áreas úmidas (regionalmente chamadas de banhados) deram lugar às culturas de arroz e milho (Rambo 1956). Atualmente, restam somente fragmentos da mata original, onde a vegetação nativa encontra-se num estágio secundário de regeneração e presença de plantações de *Eucalyptus* sp. (EIA/RIMA 2000).

O local avaliado foi dividido em quatro áreas de influência direta da usina: Horto florestal de eucaliptos (A1), Mata ripária do arroio Guajuviras (A2), Mata do açude (A3) e Mata do apiário (A4); e uma de influência indireta, Parque de Exposições Assis Brasil (A5). Estas foram delimitadas no trabalho de EIA/RIMA (2000) utilizando-se fotografias aéreas com escala 1:40.000 e identificando-se zonas de interesse botânico (figura 1).

Para mapeamento da micota líquenizada, em cada área foram amostrados de seis a 10 forófitos, onde os líquens foram analisados ao longo do tronco, entre 100 e 120 cm de altura acima do solo e, na face em que se apresentavam mais abundantes. O mapeamento das espécies foi realizado em folhas de acetato fixadas nos troncos, onde se delineava o contorno do talo das amostras para análise posterior (Le Blanc & De Sloover 1970).

As espécies não passíveis de identificação no local foram coletadas e identificadas em laboratório. A identificação dos táxons realizou-se com auxílio de microscópio estereoscópico e óptico, fazendo-se secções do talo e frutificações, assim como testes de coloração histo-químicos comumente empregados em taxonomia de líquens. Para tal, as principais

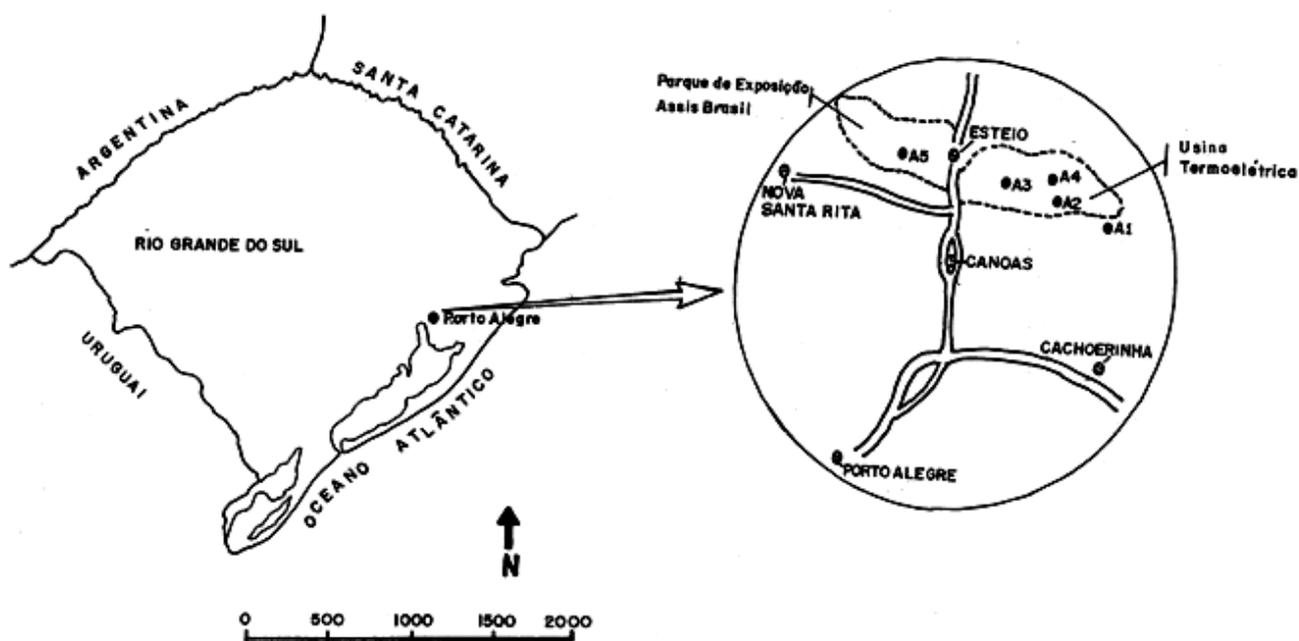


Figura 1. Áreas amostradas sob influência direta e indireta da usina termoeletrica, no Rio Grande do Sul, Brasil. A1 = Horto florestal de eucaliptos; A2 = Mata ripária do arroio Guajuviras; A3 = Mata do açude; A4 = Mata do apiário; A5 = Parque de Exposições Assis Brasil.

bibliografias utilizadas foram: Aptroot (1987), Arvidsson (1983), Awasthi (1988), Brodo (1972), Eliasaro & Adler (2000), Elix (1994), Elix & Galloway (1984), Fleig (1985, 1988, 1990), Fleig & Grüniger (2000a, b), Fleig & Medeiros (1990), Galloway (1985), Hayward (1977), Jørgensen & James (1983), Krog (1982), Moberg (1989), Scutari (1992, 1995a, b), Sérusiaux (1983), Sierk (1964), Swinscow & Krog (1988), Verdon *et al.* (1992), Marcelli *et al.* (1998).

A estimativa de frequência das espécies líquênicas baseou-se na presença/ausência dos táxons nas áreas amostradas, enquanto que para a cobertura foi utilizada a escala de Daubenmire (1968). A riqueza das espécies foi considerada como o número total de espécies de líquens ocorrentes nos 10 forófitos analisados, em cada área. A diversidade  $\alpha$  de Shannon-Wiener (Krebs 1999) foi calculada levando-se em conta a presença das espécies nos forófitos analisados em cada área. Aspectos como a vitalidade e danos aparentes foram considerados.

## Resultados e Discussão

Foram identificados 45 táxons líquênicos distribuídos em 23 gêneros e 10 famílias, sendo 71,1% representados pelos líquens foliosos, incluindo os gelatinosos, 22,2% ao grupo dos crostosos e 6,7% aos

líquens fruticosos. Dos táxons identificados, cinco são citados como bioindicadores da qualidade do ar, ou seja, mostram sintomas e efeitos indicando a presença dos poluentes, sendo eles: *Heterodermia obscurata*, *Parmotrema tinctorum*, *Physcia aipolia*, *Teloschistes exilis* e *Usnea* sp. (tabela 1).

Os táxons que apresentaram maior frequência nas áreas analisadas foram *Graphis* sp. 1, ocorrente em todas as áreas, *Canoparmelia texana*, *Dirinaria picta*, *Lecanora pallida*, *Parmotrema tinctorum* e *Punctelia graminicola*, com registro em 80% das áreas, seguidas por *Parmotrema praesorediosum* e *Physcia aipolia*, presentes em 60% das áreas avaliadas.

Para áreas urbanas ainda são poucos os trabalhos relacionados com ecologia de líquens, sendo que a maioria se refere à listagem de espécies. Os primeiros trabalhos para o Estado datam do século 19 por Malme (1902, 1925, 1926, 1928, 1934) e Redinger (1934, 1935) que incluíram coletas de líquens em áreas de Porto Alegre. Para a região metropolitana de Porto Alegre temos a contribuição dos trabalhos realizados por Fleig (1985), Osorio & Fleig (1988) e de Osorio *et al.* (1997), além do trabalho de Martins-Mazzitelli *et al.* (1999) com o registro de 72 táxons para a cidade de Porto Alegre.

Em Martins-Mazzitelli *et al.* (1999) as espécies *Lecanora pallida* e *Physcia aipolia* foram as mais

Tabela 1. Táxons ocorrentes nas áreas de influência da Usina Termoelétrica de Canoas, Rio Grande do Sul, Brasil. A1 = Horto florestal de eucaliptos; A2 = Mata ripária do arroio Guajuviras; A3 = Mata do açude; A4 = Mata do apiário; A5 = Parque de Exposições Assis Brasil.

Táxons	Áreas					Hábito
	A1	A2	A3	A4	A5	
<b>ARTHONIACEAE</b>						
<i>Cryptothecia rubrocincta</i> (Ehrenb.) G. Thor	X			X		crostoso
<i>Cryptothecia</i> sp.	X			X		crostoso
<b>BIATORACEAE</b>						
<i>Bacidia</i> sp.		X				crostoso
<b>COLLEMATACEAE</b>						
<i>Leptogium austroamericanum</i> (Malme) Dodge					X	folioso
<i>Leptogium</i> sp.				X		folioso
<b>GYALECTACEAE</b>						
<i>Coenogonium</i> sp.	X	X	X			crostoso
<b>GRAPHIDACEAE</b>						
<i>Glyphis cicatricosa</i> f. <i>confluens</i> (Ach.) Vain.	X			X		crostoso
<i>Graphis</i> cf. <i>scripta</i> (L.) Ach.	X					crostoso
<i>Graphis</i> sp. 1		X	X	X	X	crostoso
<i>Graphis</i> sp. 2		X		X		crostoso
<i>Thallolooma</i> sp.	X					crostoso
<b>LECANORACEAE</b>						
<i>Lecanora pallida</i> (Schreb.) Rabh.	X		X	X	X	crostoso
<b>PARMELIACEAE</b>						
<i>Bulbothrix isidiza</i> (Nyl.) Hale				X		folioso
<i>Canomaculina consors</i> (Nyl.) Elix & Hale					X	folioso
<i>Canomaculina muelleri</i> (Vain.) Elix & Hale				X		folioso
<i>Canomaculina subsumpta</i> (Nyl.) Elix				X		folioso
<i>Canoparmelia caroliniana</i> (Nyl.) Elix & Hale		X	X			folioso
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale		X	X	X	X	folioso
<i>Myelochroa lindmanii</i> (Lyng.) Elix & Hale					X	folioso
<i>Parmelinopsis cryptochlora</i> (Vain.) Elix & Hale				X		
<i>Parmelinopsis minarum</i> (Vain.) Elix & Hale				X		folioso
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale				X		folioso
<i>Parmotrema catarinae</i> Hale			X	X		folioso
<i>Parmotrema</i> cf. <i>flavomedullosum</i> Hale				X		folioso
<i>Parmotrema praesorediosum</i> (Nyl.) Hale					X	folioso
<i>Parmotrema sancti-angeli</i> (Lyng.) Hale				X	X	folioso
<i>Parmotrema spinibarbe</i> (Kurok.) Fleig				X	X	folioso
<i>Parmotrema tinctorum</i> (Nyl.) Hale			X			folioso
<i>Parmotremopsis antillensis</i> (Nyl.) Elix & Hale		X	X	X	X	folioso
<i>Punctelia graminicola</i> (B. de Lesd.) Egan				X	X	folioso
<i>Usnea</i> sp.				X	X	fruticoso
<b>PHYSICIACEAE</b>						
<i>Dirinaria applanata</i> (Fée) Awasthi					X	folioso
<i>Dirinaria confluens</i> (Fr.) Awasthi		X			X	folioso
<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Clem. & Shear		X	X	X	X	folioso
<i>Heterodermia albicans</i> (Pers.) Swinscow & Krog		X			X	folioso
<i>Heterodermia diademata</i> (Taylor) Awasthi					X	folioso
<i>Heterodermia obscurata</i> (Nyl.) Trev.				X	X	folioso
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen) Trevis.		X				folioso

Táxons	Áreas					Hábito
	A1	A2	A3	A4	A5	
<i>Physcia aipolia</i> (Humb.) Fürnr.				X		folioso
<i>Physcia</i> sp. 1	X	X			X	folioso
<i>Physcia</i> sp. 2		X				folioso
<i>Physcia</i> sp. 3		X				folioso
<i>Pyxine subcinerea</i> Stirt.				X		folioso
<b>RAMALINACEAE</b>						
<i>Ramalina peruviana</i> Ach.				X		folioso
<b>TELOSCHISTACEAE</b>						
<i>Teloschistes exilis</i> (Michx.) Vain.					X	fruticoso

freqüentes na região urbana de Porto Alegre, corroborando com os dados apresentados neste trabalho.

Saipunkaew *et al.* (2005) relata a baixa diversidade de espécies em ambientes urbano-industriais e cita *Dirinaria picta* como tolerante em regiões urbanas poluídas.

*Canoparmelia texana*, *Dirinaria picta* e *Punctelia graminicola* apresentaram os maiores índices de cobertura registrada em praticamente todas as áreas, com exceção da A1-Horto florestal de eucaliptos. Estas espécies pertencem ao grupo dos líquens foliosos que são medianamente tolerantes à poluição, e se enquadraram na categoria seis da escala de cobertura, ou seja, apresentaram cobertura acima de 100% no conjunto de forófitos analisados. São espécies consideradas fracas na competição, isto é, em ambiente natural perdem na competição por espaço para as foliosas de talo grande, as quais são competidoras mais agressivas; com o desaparecimento destas, ocupam o seu espaço com o aumento de seu talo e, conseqüentemente, com maior cobertura.

Coccaro *et al.* (2000) e Saiki *et al.* (2003) utilizaram *Canoparmelia texana* para analisar a presença de elementos-traço e metais pesado numa região de São Paulo, SP. Ambos citam esta espécie como tolerante à poluição atmosférica. O primeiro autor ainda comenta que a taxa de crescimento de *Canoparmelia texana* nos troncos depende diretamente das condições ambientais.

Os valores mais elevados de riqueza (26) e diversidade (1,3) foram registrados na área A4 - Mata do apiário (figura 2). A área A1 - Horto florestal de eucaliptos apresentou o maior percentual de espécies crostosas (88,9%) e ausência de espécies fruticosas. Este fato possivelmente esteja relacionado com a baixa disponibilidade de forófitos adequados para o desenvolvimento da micota liquenizada, pois se trata de uma área predominantemente formada por eucaliptos. Os maiores percentuais de espécies foliosas foram registrados nas áreas A5 - Parque de Exposição Assis Brasil (77,3%) e A3 - Mata do açude (75%) (tabela 2).

Tabela 2. Valores de cobertura, riqueza de espécies e percentuais dos hábitos da comunidade liquênica ocorrente nas áreas de influência da Usina Termoelétrica de Canoas, Rio Grande do Sul, Brasil. A1 = Horto florestal de eucaliptos; A2 = Mata ripária do arroio Guajuviras; A3 = Mata do açude; A4 = Mata do apiário; A5 = Parque de Exposições Assis Brasil.

Áreas	Cobertura	Riqueza	Hábito (%)		
			crostosos	foliosos	fruticosos
A1	36,1	9	88,9	11,1	zero
A2	177,4	15	26,7	73,3	zero
A3	156,2	12	25,0	75,0	zero
A4	152,8	25	24,0	68,0	8,0
A5	284,6	22	9,1	77,3	13,6

A mata do apiário apresentou maior riqueza, porém baixa cobertura, isto se deve a maior ocorrência de espécies crostosas que, embora em grande número, por natureza apresentam talos pequenos o que contribui com a baixa cobertura. Espécies foliosas de crescimento rápido são fortes na competição por espaço o que conseqüentemente faz com que ocorra um aumento na cobertura apesar de apresentarem menor riqueza como no caso da A5 – Parque de Exposição Assis Brasil (figura 2). Além disso, as espécies foliosas são mais sensíveis às alterações ambientais que as espécies crostosas, sendo assim o desaparecimento das foliosas proporciona um aumento na ocorrência das pequenas crostas o que ocorreu na mata do apiário a qual se encontra mais alterada e com maior presença de crostas tolerantes à poluição.

Fatores como a maior incidência solar e a presença de indivíduos arbóreos adequados para o estabelecimento dos líquens também contribuíram para este resultado. Tanto a luminosidade como o tipo de casca são alguns dos fatores limitantes para a ocorrência de líquens (Brodo 1973, Marcelli 1996, Hawksworth 1975).

Na avaliação da aparência externa dos líquens ocorrentes nas áreas foram detectadas manchas escuras no talo, especialmente nas espécies foliosas e fruticosas. Supostamente, estes danos seriam

conseqüências da acumulação de poluentes nos tecidos dos líquens, o que provoca a morte de células e ocasiona a degradação da clorofila e a redução da fotossíntese, surgindo manchas escuras a marrons nos talos (Martins-Mazzitelli *et al.* 2006). Indivíduos de hábito fruticoso, quando presentes, apresentavam-se pouco desenvolvidos, evidenciando indivíduos jovens ou com dificuldades de crescimento. Diversos trabalhos como Estrabou (1998), Kricke & Loppi (2002), van Haluwyn & van Herk (2002), entre outros, discorrem sobre os líquens como bioindicadores da qualidade do ar e indicam que as espécies fruticosas são as mais sensíveis à poluição urbana e industrial, principalmente para compostos sulfurados.

As áreas amostradas caracterizam-se por apresentarem influência antrópica direta não exibindo condições adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento da micota liquenizada. Devido às atividades desenvolvidas no contexto urbano-industrial onde a área está inserida, constatou-se que vários fatores estariam contribuindo para a poluição atmosférica do local, tais como poluição veicular e outras possíveis contaminações como SO<sub>2</sub>, provenientes de diversas indústrias localizadas no seu entorno. Também se levou em conta o fato da usina termoeletrica emitir para a atmosfera principalmente compostos como NO<sub>x</sub>, CO e CO<sub>2</sub>, mas não compostos sulfurados.

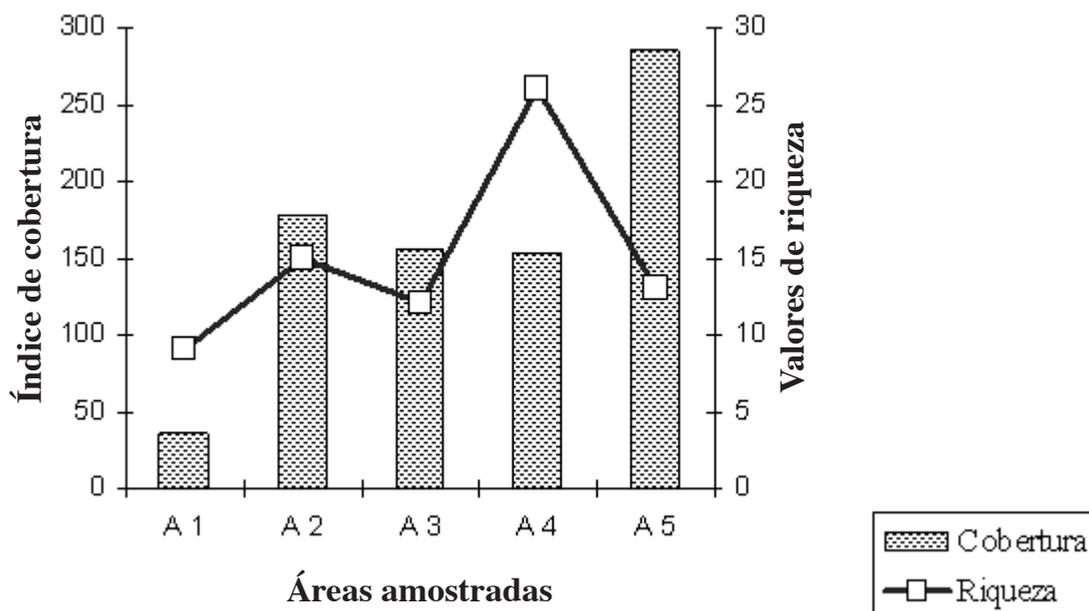


Figura 2. Índice de cobertura e riqueza de líquens nas áreas sob influência direta e indireta da usina termoeletrica, no Rio Grande do Sul, Brasil. A1 = Horto florestal de eucaliptos; A2 = Mata ripária do arroio Guajuviras; A3 = Mata do açude; A4 = Mata do apiário; A5 = Parque de Exposições Assis Brasil.

Em todas as áreas foram observadas espécies oportunistas, isto é, espécies que por natureza são menos agressivas como competidoras aparecendo em ambientes naturais com baixa frequência e cobertura. Em áreas alteradas, com o desaparecimento das espécies mais sensíveis, as espécies oportunistas encontram espaço para o seu desenvolvimento devido a sua resistência e/ou tolerância aos efeitos da poluição.

Dessa forma, são espécies características de ambientes alterados: *Canoparmelia texana*, *Dirinaria picta* e *Punctelia graminicola*, todas apresentando altos índices de cobertura na área. A baixa ocorrência de forófitos adequados para o estabelecimento de micota liquenizada também foi um dos fatores que contribuiu para a redução de espécies nas áreas amostradas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio O&M-Steag Encotec / Camargo Corrêa pelo auxílio financeiro, permitindo a realização do trabalho na área da Usina Termoelétrica de Canoas.

### Literatura citada

- Aproot, A.** 1987. Pyxinaceae (Lichens). *In*: A.R.A. Görts Van Rijn. Flora of the Guianas. Series E: Fungi and Lichens. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, pp. 1-53.
- Arvidsson, A.** 1983. Taxonomical studies in the lichen families Coccocarpiaceae and Pannariaceae. Department of Systematic Botany. University of Göteborgs, Göteborg, pp. 4-96.
- Awasthi, D.D.** 1988. A key to the macrolichens of India and Nepal. Journal of the Hattori Botanical Laboratory 65: 207-302.
- Baddeley, M.S., Ferry, B.W. & Finegan, E.J.** 1973. Sulphur dioxide and respiration in lichens. *In*: B.W. Ferry, M.S. Baddeley & D.L. Hawksworth (eds.). Air Pollution and Lichens. The Athlone Press, London, pp. 299-313.
- Bargagli, R. & Mikhailova, I.** 2002. Accumulation of inorganic contaminants. *In*: P.L. Nimis, C. Scheidegger & P.A. Wolseley (eds.). Monitoring with lichens – Monitoring lichens. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 65-84.
- Barkman, J.J.** 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum, Assen.
- Brodo, I.M.** 1972. Lichens of the Ottawa area III - The crustose species. Trail and Landscape 6: 15-26.
- Brodo, I.M.** 1973. Substrate ecology. *In*: M.E. Hale (ed.). The Lichens. Academic Press, New York, pp. 401-436.
- Calvelo, S. & Liberatore, S.** 2004. Applicability of *in Situ* or transplanted lichens for assessment of atmospheric pollution in Patagonia, Argentina. Journal of Atmospheric Chemistry 49: 199-210.
- Coccaro, D.M.B, Saiki, M.B.A., Vasconcelos, M.P. & Marcelli, M.P.** 2000. Analysis of *Canoparmelia texana* lichens collected in Brazil by neutron activation analysis. *In*: Biomonitoring of atmospheric pollution (with emphasis on trace elements) BioMAP. International Atomic Energy Agency, Lisboa, pp. 143-148.
- Coppins, B.J.** 1973. The drought hypothesis. *In*: B.W. Ferry, M.S. Baddeley & D.L. Hawksworth (eds.). Air pollution and lichens. The Athlone Press, London, pp. 124-142.
- Daubenmire, R.F.** 1968. Plants communities. A textbook of plant synecology. Harper & Row, New York.
- EIA/RIMA.** 2000. Relatório de Impacto Ambiental. v. 7. Estudos Ambientais, Porto Alegre.
- Eliasaro, S. & Adler, M.** 2000. The species of *Canomaculina*, *Myelochroa*, *Parmelinella* and *Parmelinopsis* (Parmeliaceae, lichenized ascomycotina) from the “Segundo Planalto” in the state of Paraná, Brazil. Acta Botanica Brasilica 14: 127-39.
- Elix, J.A.** 1994. Flora of Austrália. Lichens-Lecanorales 2, *Parmeliaceae*. Australian Biological Resources Study 55: 5-360.
- Elix, J.A. & Galloway, D.J.** 1984. Additional notes on *Parmelia* and *Punctelia* (lichenised ascomycotina) in Australasia. New Zealand Journal of Botany 22: 441-445.
- Estrabou, C.** 1998. Lichen species identification and distribution according tolerance to airborne contamination in the city of Córdoba (Argentina). *In*: M.P. Marcelli & M.R.D. Seaward (eds.). Lichenology in Latin America: history, current knowledge and application. CETESB, São Paulo, pp. 165-169.
- Fleig, M.** 1985. Estudo preliminar da família Parmeliaceae (Líquens) no Rio Grande do Sul, Brasil. Comunicação do Museu de Ciências PUCRS, série Botânica 35: 79-91.
- Fleig, M.** 1988. Líquens da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. Napaea 6: 9-16.
- Fleig, M.** 1990. Líquens da Estação Ecológica de Aracuri. Novas ocorrências. Iheringia, série Botânica 4: 121-125.
- Fleig, M. & Grüninger, W.** 2000a. Levantamento preliminar dos líquens do Centro de Pesquisas e Conservação da natureza Pró-Mata, São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. Napaea 12: 5-20.
- Fleig, M. & Grüninger, W.** 2000b. Líquens do pomar Cisne Branco e arredores, São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia, série Botânica 53: 67-78.

- Fleig, M. & Medeiros Filho, J.W.** 1990. Gêneros dos líquens saxícolas, corticícolas e terrícolas do Morro Santana, Porto Alegre, RS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 4: 73-99.
- Galloway, D.J.** 1985. Lichens. *In*: P.D. Hasselberg (ed.). *Flora of New Zealand*. Government Printer, Wellington.
- Geebelen, W. & Hoffmann, M.** 2001. Evaluation of bio-indication methods using epiphytes by correlating with SO<sub>2</sub> pollution parameters. *The Lichenologist* 33: 249-260.
- Giordano, S., Adamo, P., Sorbo, S. & Vingiani, S.** 2005. Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags. *Environmental Pollution* 136: 431-442.
- Gries, G.** 1996. Lichens as indicators of air pollution. *In*: T.H. Nash (ed.). *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 240-254.
- Hawksworth, D.L.** 1975. Lichens – New Introductory, matter and supplementary. Index by Smith, A. L. 1921. The Richmond Publishing, Cambridge.
- Hawksworth, D.L., Rose, F. & Coppins, B.J.** 1973. Changes in the lichens flora of England and Wales attributable to pollution of the air by sulphur dioxide. *In*: B.W. Ferry, M.S. Baddeley & D.L. Hawksworth (eds.). *Air pollution and lichens*. The Athlone Press, London, pp. 330-367.
- Hayward, G.C.** 1977. Taxonomy of the lichen families Graphidaceae and Opegraphaceae in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 15: 565-584.
- Jørgensen, P.M. & James, P.W.** 1983. Studies on some *Leptogium* species of Western Europe. *The Lichenologist* 15: 109-125.
- Krebs, C.J.** 1999. *Ecological methodology*. 2 ed., Addison-Welsey Publishers, Menlo Park.
- Kricke, R. & Loppi, S.** 2002. Bioindication: The I.A.P. approach. *In*: P.L. Nimis, C. Scheidegger & P.A. Wolseley (eds.). *Monitoring with lichens—Monitoring lichens*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 21-38.
- Krog, H.** 1982. *Punctelia*, a new lichen genus in the Parmeliaceae. *Nordic Journal of Botany* 52: 303-311.
- Le Blanc, F.S.C. & De Sloover, J.** 1970. Relation industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48: 1485-1496.
- Loppi, S.** 1996. Lichens as bioindicators of geothermal air pollution in central Italy. *The Bryologist* 99: 41-48.
- Malme, G.O.A.** 1902. Die Flechten der ersten Regnellschen Expedition II. Die Gattung *Rinodina* (Ach.) Stiz. *Bihang Till Kuglinge Svenska Vetenskaps Akademien Handlingar* 8: 1-53.
- Malme, G.O.A.** 1925. Die Collematazeten des Regnellschen Herbars. *Arkiv für Botanik* 19: 1-29.
- Malme, G.O.A.** 1926. Die Pannariazen des Regnellschen Herbars. *Arkiv für Botanik* 20: 1-23.
- Malme, G.O.A.** 1928. *Buelliae itineris Regnelliani primi*. *Arkiv für Botanik* 21: 1-42.
- Malme, G.O.A.** 1934. Die Gyalectazeten der ersten Regnellschen Expedition. *Arkiv für Botanik* 26: 1-10.
- Marcelli, M.P.** 1996. Biodiversity assessment in lichenized fungi: the necessary naive roll makers. *In*: C.E.M. Bicudo & N.A. Menezes (eds.). *A first approach*. CNPq, São Paulo.
- Marcelli, M.P.** 1998. History and current knowledge of Brazilian lichenology. *In*: M.P. Marcelli & M.R.D. Seaward (eds.). *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and application*. CETESB, São Paulo, pp. 25-45.
- Marcelli, M.P., Pereira, E.C. & Iacomini, M.** 1998. A bibliography on Brazilian lichenology. *In*: M.P. Marcelli & M.R.D. Seaward (eds.). *Lichenology in Latin America: history, current knowledge and application*. CETESB, São Paulo, pp. 47-63.
- Martins-Mazzitelli, S.M.A., Käffer, M.I. & Cardoso, N.** 1999. Líquens corticícolas de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Iheringia, série Botânica* 52: 53-63.
- Martins-Mazzitelli, S.M.A., Mota Filho, F.O., Pereira, E.C. & Figueira, R.** 2006. Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar. *In*: L. Xavier Filho, M.E. Legaz, C.V. Córdoba & Pereira, E.C. (eds.). *Biologia de Líquens*. v. 3, 4 ed. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro, pp. 101-133.
- Mikhailova, I.N.** 2007. Populations of epiphytic lichen under stress conditions: survival strategies. *The Lichenologist* 39: 83-89.
- Minganti, V., Capelli, R., Drava, G., Pellegrini, R.D., Brunialti, G., Giordani, P. & Modenesi, P.** 2003. Biomonitoring of trace metals by different species of lichens (*Parmelia*) in north-west Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry* 45: 219-229.
- Moberg, R.** 1989. The lichen genus *Physcia* in Central and South America. *Nordic Journal of Botany* 10: 319-342.
- Munzi, S., Ravera, S. & Caneva, G.** 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environmental Pollution* 146: 350-358.
- Nimis, P.L., Ciccarelli, A., Lazzarin, G., Bargagli, R., Benedit, A., Castello, M., Gasparo, D., Lausi, D., Olivieri, S. & Tretiach, M.** 1989. I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio-Thiene-Breganze (Vicenza). *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona* 16: 1-154.
- Nimis, P.L. & Purvis, O.W.** 2002. Monitoring lichens as indicators of pollution. *In*: P.L. Nimis, C. Scheidegger & P.A. Wolseley (eds.). *Monitoring with Lichens –*

- Monitoring Lichens. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 7-10.
- Osorio, H.S., Aguiar, L.W. & Martau, L.** 1997. Contribuição da flora líquênica do Brasil XXXIII. Líquens do Estado do Rio Grande do Sul: Depressão Central. Iheringia, série Botânica 49: 11-20.
- Osorio, H.S. & Fleig, M.** 1988. Contribution to the lichen flora of Brasil XXI. Lichens from Morro Santana, Rio Grande do Sul State. Comunicaciones Botánicas del Museo de Historia Natural de Montevideo 5: 1-14.
- Rambo, B.** 1956. A flora fanerogâmica dos Aparados Riograndenses. Sellowia 7: 235-298.
- Redinger, K.** 1934. Die Graphidinen der ersten Regnell'schen Expedition nach Brasilien 1882-94 I. – *Glyphis medusulina* und *Sarcographa*. Arkiv für Botanik 25: 1-20.
- Redinger, K.** 1935. Die Graphidinen der Regnell'schen Expedition nach Brasilien 1892-94. *Graphis* und *Phaeographis*, nebst einem Nachtrage zu *Graphina*. Arkiv für Botanik 27: 1-107.
- Rinino, S., Bombardi, V., Giordani, P., Tretiach, M., Crisafulli, P., Monaci, F. & Modenesi, P.** 2005. New histochemical techniques for the localization of metal ions in the lichen thallus. The Lichenologist 37: 463-466.
- Saiki, M., Fuga, A., Alves, E.R., Vasconcellos, M.B.A. & Marcelli, M.** 2003. The use of *Canoparmelia texana* lichenized fungi in the study of atmospheric air pollution. In: Third International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Ljubljana, pp. 705-708.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P. & Chimonides, P.J.** 2005. Epiphytic lichens as indicators of environmental health in the vicinity of Chiang Mai city, Thailand. The Lichenologist 37: 345-356.
- Schlensog, M. & Schroeter, B.** 2001. A new method for the accurate *in situ* monitoring of chlorophyll a fluorescence in lichens and bryophytes. The Lichenologist 33: 443-452.
- Scutari, N.C.** 1992. Estudios sobre PYXINACEAE foliosas (Lecanorales, Ascomycotina) de la Argentina, IV: claves de los generos y las especies de la Provincia de Buenos Aires. Boletín Sociedad Argentina de Botánica 28: 169-173.
- Scutari, N.C.** 1995a. Los macrolíquenes de Buenos Aires, I: *Dirinaria*, *Heterodermia* e *Hyperphyscia* (Physciaceae, Ascomycotina). Darwiniana 33: 149-176.
- Scutari, N.C.** 1995b. Los macrolíquenes de Buenos Aires, II: *Phaeophyscia*, *Physcia* y *Pyxine* (Physciaceae, Ascomycotina). Darwiniana 33: 211-231.
- Scutari, N.C. & Theinhardt, N.J.** 2001. Identification of urban lichens in the field: a case study for Buenos Aires city (Argentina). Mycotaxon 53: 427-445.
- Sérusiaux, E.** 1983. New data on the lichen genus *Punctelia* (Parmeliaceae). Nordic Journal Botany 3: 517-520.
- Sierk, H.A.** 1964. The genus *Leptogium* in North America North of Mexico. The Bryologist 67: 246-317.
- Swinscow, T.D.V. & Krog, H.** 1988. Macrolichens of East Africa. British Museum (Natural History), London.
- Valencia, M.C. & Ceballos, J.A.** 2002. Hongos liquenizados. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- van Haluwyn, C. & van Herk, C.M.** 2002. Bioindication: The community approach. In: P.L. Nimis, C. Scheidegger & P.A. Wolseley (eds.). Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 39-64.
- Verdon, D., Filson, R.B. & Henssen, A.** 1992. Collemataceae. Flora of Australia 54: 159-192.
- Wetmore, C.M.** 1989. Lichens and air quality in Cuyahoga Valley National Recreation Area, Ohio. The Bryologist 92: 273-281.
- Wolseley, P.A., James, P.W., Theobald, M.R. & Sutton, M.A.** 2006. Detecting changes in epiphytic lichen communities at sites affected by atmospheric ammonia from agricultural sources. The Lichenologist 38: 161-176.