

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Bacharelado em Gestão Ambiental
BIOINDICADORES AMBIENTAIS
Sessão 3

Professor Antônio Ruas

- 1. Bioindicadores da qualidade do ar: segunda parte.**
- 2. Exercício complementar único.**

•1. Bioindicadores da qualidade do ar: animais, vegetais e líquens.

- Os biomonitoramentos, passivo e ativo, têm sido amplamente utilizados no Brasil nas últimas décadas para estudos diversos da qualidade do ar e efeito dos poluentes sobre as espécies vegetais inferiores e superiores, fungos e líquens.
- As plantas superiores são particularmente úteis para programas de biomonitoramento da qualidade do ar. São organismos eucarióticos, com complexidade genética similar à do homem e são facilmente cultivadas. Além disto, muitas plantas possuem ciclos de vida curtos, o que permite uma avaliação dos efeitos causados por perturbações ambientais em curto prazo.
- Atualmente há também vários estudos com aves usadas como biomonitoras da qualidade do ar. Os trabalhos consultados versam sobre principalmente pombas domésticas, que mostram concentrações de metais pesados no sangue, penas e tecidos internos. Alguns trabalhos sobre este tema serão colocados no site do professor.

•2. Vegetais e líquens como bioindicadores.

- As plantas bioindicadoras, devido sua sensibilidade às alterações no ambiente, oferecem significativa resposta aos poluentes, apresentando modificações em suas estruturas. Essas mudanças podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através do aparecimento de cloroses, necroses, queda de folhas ou diminuição no seu crescimento, como pode ocorrer em nível genético, estrutural, fisiológico ou bioquímico, não sendo visualmente observadas.
- Neste tópicos vamos usar imagens livres da Internet e da obra acessível Manual prático para utilização de *Tradescantia* como biomonitor & bioacumulador, *Allium cepa* L. (cebola) e pollen abortion de Débora-Jã de Araujo Lobo.
- Salienta-se que a cebola, *Alium cepa*, será avaliada como bioindicadora da qualidade da água.

•3. Revisões sobre vegetais e líquens como bioindicadores da qualidade do ar.

- Há vários trabalhos que revisam o uso de bioindicadores e biomonitores da qualidade do ar.
- A Dissertação de Mestrado de Carneiro, R. M. A., disponível no site do professor é um exemplo. Parte de uma atualização sobre poluição e uso de biomonitores e, a seguir, exemplifica vários exemplos de programas de uso. Os biomonitores são de acumulação, atuando como detectores de concentrações de elementos ou compostos no ar, ou de reação, quando mostram alterações fisiológicas quando submetidos à condições atmosféricas danosas.
- Vamos detalhar mais adiante o uso de *Tradescantia* spp., uma planta usada em programas de biomonitoramento, a partir de mais de um mecanismo de reação.

•

•3. Revisões sobre vegetais e líquens como bioindicadores da qualidade do ar.

- Na dissertação mencionada podemos ler os seguintes exemplos:

3. Revisões sobre vegetais e líquens como bioindicadores da qualidade do ar.

- Na dissertação lemos os seguintes exemplos que seguem até a letra Z (autores). Quadro 1.

Quadro 7 - Síntese dos dados obtidos por Revisão Sistemática da Literatura aplicada para uso de bioindicadores vegetais de poluição atmosférica

Referência	Local do estudo Cidade e País	Espécie	Divisão / Ordem Botânica	Hábito	Poluentes	Fonte de poluição	Exposição da planta ativa/passiva; laboratório/campo	Tempo de exposição	Parâmetros analisados	Tipo de bioindicador reação/ acumulação	Observações
ACETO, M. et al., 2003.	Friedmont, Itália	<i>Bryum argenteum</i>	Briófitas, musgo		Metais: Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Ti, Zn	rodovias, indústrias, agricultura	passiva	não especificado	concentração de metais nas amostras de musgo expostas	acumulação	
ADAMO, P. et al., 2003.	Nápoles, Itália	<i>Sphagnum capillifolium</i> ; <i>Pseudevernia furfuracea</i>	Briófitas, Musgo Líquens	epífita epífita	Metais: Al, As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zn	veículos e indústrias (área urbana)	ativa, campo	10 e 17 semanas	concentração dos 17 elementos-traço em amostras expostas	acumulação	tempo de exposição: 10 semanas - estação seca; 17 semanas - estação úmida
AKOSY, A.; ÖZTÜRK, M.A., 1997.	Antalya, Turquia	<i>Nerium oleander</i>	Angiospermas	arbustiva	Metais pesados: Pb, Cd, Zn, Cu	tráfego de veículos e barcos	passiva	não especificado	concentração dos metais em folhas de plantas expostas (lavadas e não lavadas); concentração dos metais no solo	acumulação	
ALADMO, M.G. et al., 2000.	Palermo, Itália	<i>Pinus pinea</i>	Coníferofitas	arbórea	elementos químicos inorgânicos	emissões veiculares, calefação e pequenas indústrias	passiva	não especificado	concentração dos 20 elementos químicos; composição isotópica do Pb (planta e solo); alterações anatómicas (presença de fenois)	acumulação	
ALESSIO, M. et al., 2002.	Roma e Lazio (rural), Itália	<i>Quercus ilex</i>	Angiospermas	arbórea	Chumbo, CO ₂	veículos, ambiente urbano	passiva	3 anos	composição de isótopos estáveis do Pb; concentração Pb; trocas gasosas folhas, clorofila	acumulação	
ALESSIO, M. et al., 2002.	Roma e Lazio (rural), Itália	<i>Pinus pinea</i>	Coníferofitas	arbórea	Chumbo, CO ₂	veículos, ambiente urbano	passiva	3 anos	composição de isótopos estáveis do Pb; concentração Pb; trocas gasosas folhas, clorofila	acumulação	
ALVES, E.S. et al., 2001.	São Paulo, Brasil	<i>Tradescantia clone 4430</i>	Angiospermas	herbácea	SO ₂ , NO _x , O ₃	veículos	ativa, campo	3 meses	n° estimatos e células epidérmicas; diâmetro do metaxilema (nervura central); dimensões da célula estomática; espessura da lâmina foliar; altura das células do mesófilo (anatómicas)	reação	
AMADO FILHO, G.M. et al., 2002	Rio de Janeiro, Brasil	<i>Tillandsia usneoides</i>	Angiospermas	epífita (terrestre)	Hg	industrial	ativa, campo	15 dias	concentração de Hg nas amostras coletadas; detecção do metal com microscópio eletrônico	acumulação	Espécie apropriada para uso em regiões mais tropicais, em substituição a líquens, musgos e coníferas
ARUTYUNYAN, R.M. et al., 1999	Yerevan, Arménia	<i>Tradescantia clone 02</i>	Angiospermas	herbácea	não especificado	industrial	ativa, campo	não especificado	Tradescantia-SHM: eventos de mutação em células de pelos estomáticos de plantas expostas	reação	
BATALHA, J.R.F. et al., 1999	São Paulo, Brasil	<i>Tradescantia pallida var purpurea</i>	Angiospermas	herbácea	PM-10	veículos	ativa, laboratório		mutagenicidade pela formação de micronúcleos (Trad-MCN)	reação	
BAUR, M.; LAUCHERT, U.; WILD A., 1998	Alemanha (várias localidades)	<i>Picea abies</i>	Coníferofitas	arbórea	O ₃	não especificado	passiva	2 anos	clorofila a e b, proteína D1, citocromo e P700	reação	
BEDNÁROVÁ, E., 2001.	República Tcheca	<i>Betula pendula</i>	Angiospermas	arbórea	SO ₂	industrial	passiva	não especificado	alterações estruturais e quantitativas na área epicuticular das folhas	reação	
BERG, T.; STEINNES, E., 1997b	Noruega (várias localidades)	<i>Hylocomium splendens</i> ; <i>Pleurozium ochroleucum</i>	Briófitas, musgo		elementos-traço e elementos químicos de deposição aérea (MP)	não especificado	passiva	2 anos	concentração dos elementos-traço nas amostras dos musgos e conversão para taxa de deposição (regresso linear)	acumulação	
BERG, T.; STEINNES, E., 1997a	Noruega	<i>Hylocomium splendens</i>	Briófitas, musgo		elementos-traço	transporte aéreo de partículas provenientes de longas distâncias	passiva	3 anos	concentração dos elementos-traço em amostras de musgo expostas	acumulação	Fontes locais de poluição: indústrias metalúrgicas de Níquel, Zinco e Cromo

•3. Revisões sobre vegetais e líquens como bioindicadores da qualidade do ar.

• Quadro 2.

ALAIMO, M.G. et al., 2000.	Palermo, Itália	<i>Pinus pinea</i>	Coniferofita	arbórea	elementos químicos inorgânicos	emissões veiculares, calefação e pequenas indústrias	passiva	não especificado	concentração dos 20 elementos químicos; composição isotópica de (planta e solo); alterações anatômicas (presenças de fenóis)
ALESSIO, M. et al., 2002.	Roma e Lazio (rural), Itália	<i>Quercus ilex</i>	Angiosperma	arbórea	Chumbo, CO2	veículos, ambiente urbano	passiva	3 anos	composição de isótopos estáveis: Pb; concentração Pb; trocas gasosas: folhas; clorofila
ALESSIO, M. et al., 2002.	Roma e Lazio (rural), Itália	<i>Pinus pinea</i>	Coniferofita	arbórea	Chumbo, CO2	veículos, ambiente urbano	passiva	3 anos	composição de isótopos estáveis: Pb; concentração Pb; trocas gasosas: folhas; clorofila
ALVES, E.S. et al., 2001.	São Paulo, Brasil	<i>Tradescantia</i> clone 4430	Angiosperma	herbácea	SO2, NOx, O3	veículos	ativa, campo	3 meses	nº estômatos e células epidérmicas; diâmetro do metaxilema (nervura central); dimensões da câmara estomática; espessura da lâmina foliar; altura das células do mesófito (anatômicos)
AMADO FILHO, G.M. et al., 2002	Rio de Janeiro, Brasil	<i>Tillandsia usneoides</i>	Angiosperma	epífita (bromélia)	Hg	industrial	ativa, campo	15 dias	concentração de Hg nas amostras coletadas; detecção do metal com microscópio eletrônico
ARUTYUNYAN, R.M. et al., 1999	Yerevan, Armenia	<i>Tradescantia</i> clone 02	Angiosperma	herbácea	não especificado	industrial	ativa, campo	não especificado	<i>Tradescantia</i> -SHM: eventos de mutação em células de pelos estaminados de plantas expostas
BATALHA, J.R.F. et al., 1999	São Paulo, Brasil	<i>Tradescantia pallida</i> var <i>purpurea</i>	Angiosperma	herbácea	PM-10	veículos	ativa, laboratório		mutagenicidade pela formação de micronúcleos (<i>Trad</i> -MCN)
BAUR, M.; LAUCHERT, U.; WILD A., 1998	Alemanha (várias localidades)	<i>Picea abies</i>	Coniferofita	arbórea	O3	não especificado	passiva	2 anos	clorofila a e b, proteína DI, citocromo P700
BEDNÁROVÁ, E., 2001.	República Tcheca	<i>Betula pendula</i>	Angiosperma	arbórea	SO2	industrial	passiva	não especificado	alterações estruturais e quantitativas na área epicuticular das folhas
BERG, T.; STEINNES, E., 1997b	Noruega (várias localidades)	<i>Hylocomium splendens</i> ; <i>Pleurozium schreberi</i>	Briófita, musgo		elementos-traço e elementos químicos de deposição aérea (MP)	não especificado	passiva	2 anos	concentração dos elementos-traço amostras dos musgos e conversão para taxa de deposição (regressão linear)

• Neste quadro, há um destaque para alguns dos exemplos e mecanismos usados.

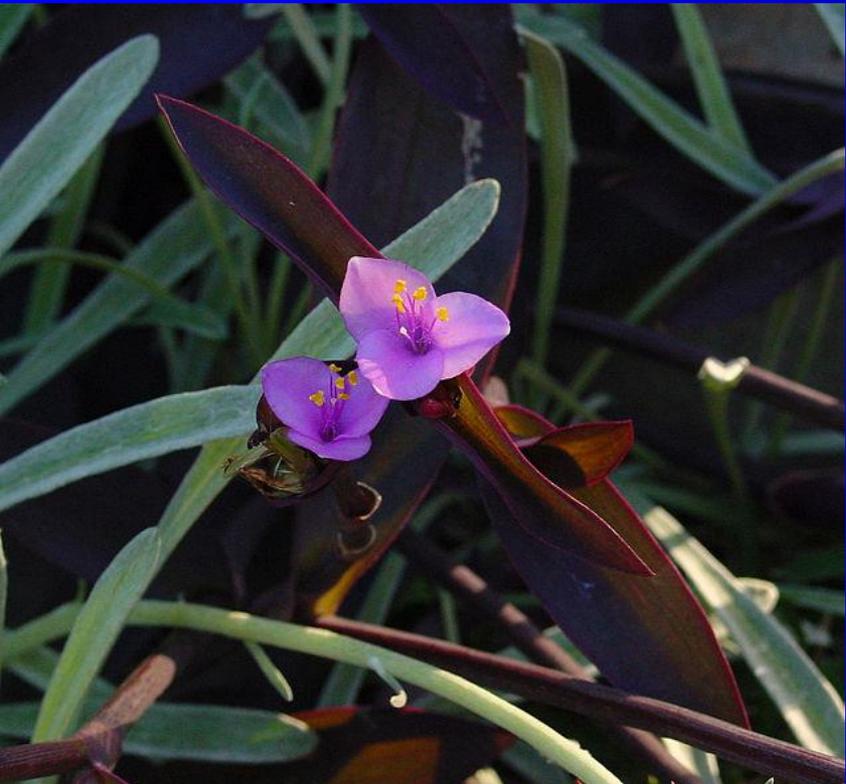
- 4. Panorama geral dos vegetais e líquens como bioindicadores.
- **Angiospermas.**
- Espécies:
 - *Nicotiana tabacum* (o tabaco);
 - *Tillandsia* sp., *T. usneoides*; *T. capillaris*;
 - *T. caput medusae*; *T. bulbosa*,
- Família das Bromeliaceae:
 - *T. usneoides* é conhecida como
 - Barba-de-pau,
 - Barba-de-velho,
 - Musgo Espanhol..

- Figura 1: *Tillandsia usneoides*
- Fonte: Internet..



•4.1 Vegetais e líquens como bioindicadores: *Tradescantia*.

- **Angiospermas:** *Tradescantia pallida*; *T. pallida purpura*; clone KU-20:
- É uma Angiosperma facilmente cultivável e comum nos jardins na forma selvagem. (Commelinaceae). O nome popular é Trapoeraba-roxa. Foram desenvolvidos clones mais sensíveis à poluição.
- É usada para observação de efeitos genotóxicos.



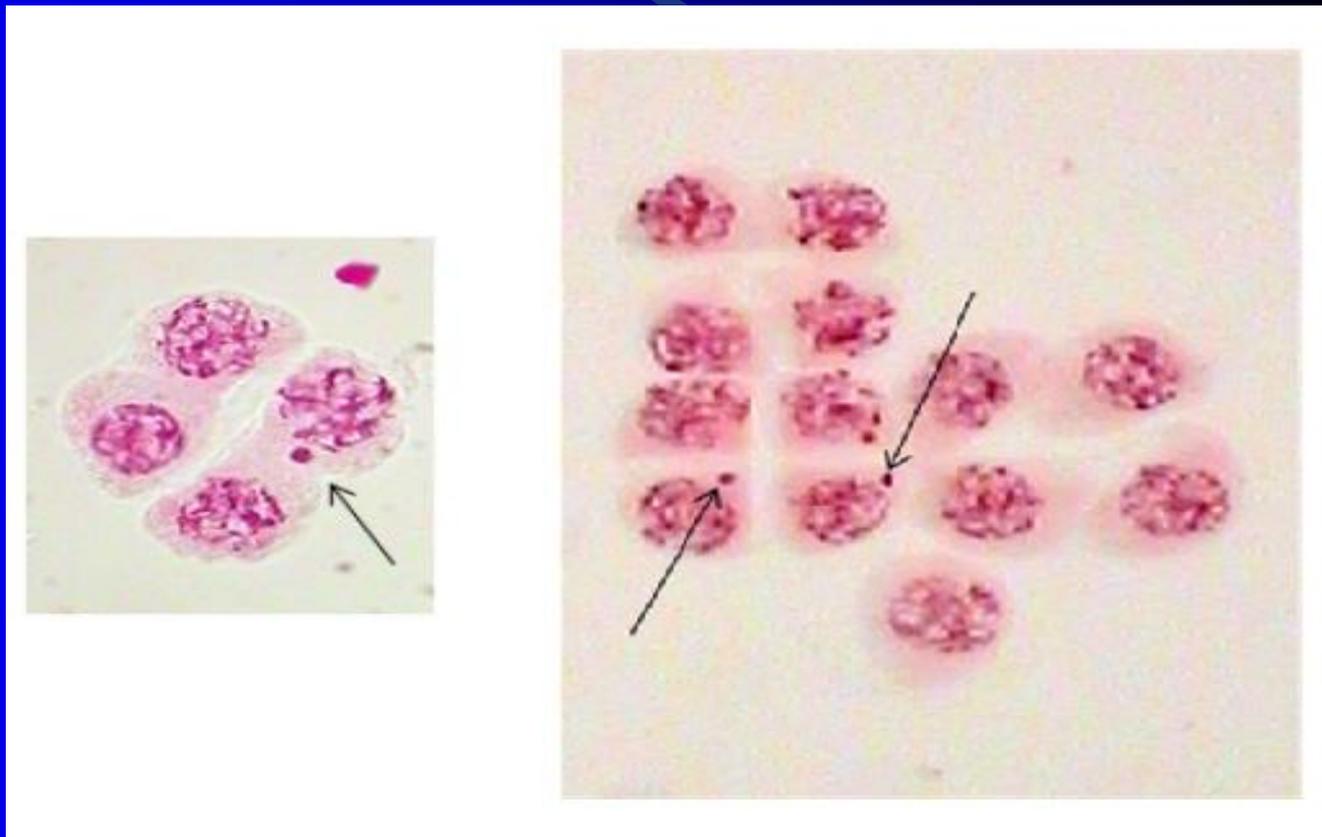
- Figuras 2, 3: *Tradescantia* spp. Fonte: Internet.

•4.1 Vegetais e líquens como bioindicadores: *Tradescantia*.

- Os mecanismos mais usados com a *Tradescantia* spp. são a análise da frequência de micronúcleos e a mutação dos pelos estaminais. Os micronúcleos são partes destacadas da célula meiótica que decorrem de efeito genotóxico, ou seja, da exposição a poluentes.



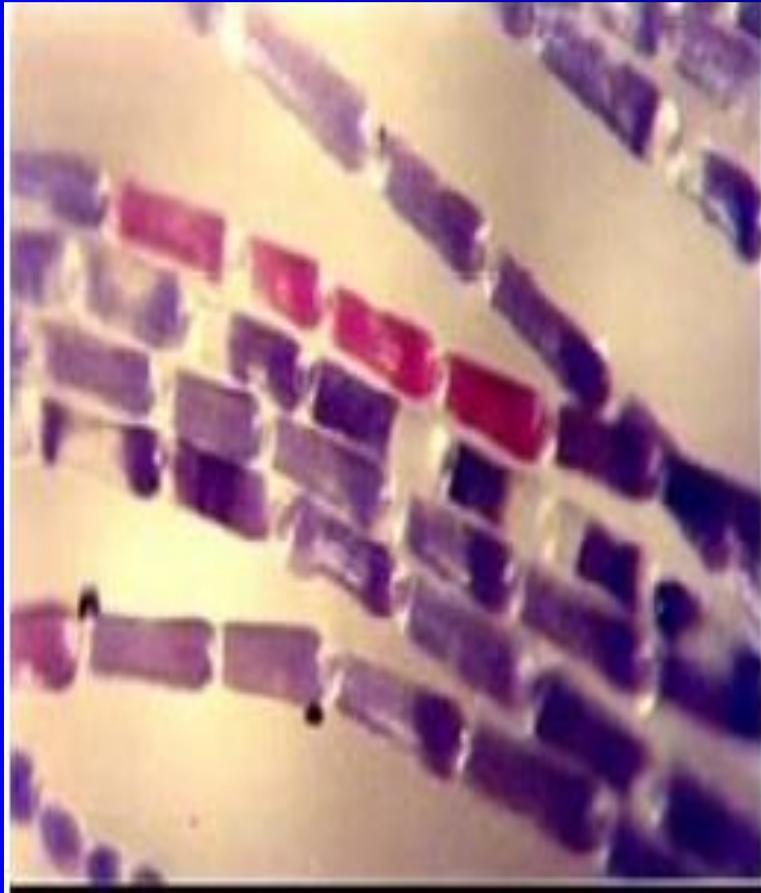
- Figura 4: Inflorescência de *Tradescantia* sp.
- Fonte: Lobo, s/d.



- Figura 5: Micronúcleos na fase de tetrade de *Tradescantia* sp. Fonte: Lobo, s/d.

•4.1 Vegetais e líquens como bioindicadores: *Tradescantia*.

- Os pelos estaminais são observados para uma mutação que os torna rosa, sendo roxos na preparação em lâmina Também avaliados quanto à frequência.



- Figura 6: Mutação rosa nos pelos estaminais de *Tradescantia* sp. Fonte: Lobo, s/d.

- 4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.
- **Angiospermas.**
- Espécies:
- ***Tibouchina pulchra.***
- Outra Angiosperma da família Melastomataceae de valor para jardinagem. Considerada
- Tolerante, pode ser usada
- para observação de
- alterações
- fisiológicas e bioquímicas
- pela acumulação de metais
- pesados e fluoretos.



• Figura 7: *Tibouchina* sp. Fonte: Internet.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• **Musgos**

- *Pleurozium schereberi* e *Hylocomium splendens* são musgos da família Hylocomiaceae que ocorrem na América, Europa e Ásia. Utilizadas, juntas ou separadamente, no biomonitoramento de metais pesados e material particulado.
- As concentrações de 37 elementos químicos, em amostras coletadas de musgos, estão relacionadas a elementos presentes na atmosfera os quais provocam danos a saúde
- *Hipnum cupressiforme* é um musgo próximo, pertence à família Hypnaceae, com ocorrência registrada na América, Europa, Ásia, África e Oceania. São utilizados na avaliação de metais pesados e hidrocarbonetos presentes na atmosfera.

•

- 4. 2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

- **Musgos**



- Figura 8: Musgos. Fonte: Internet.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• **Líquens**

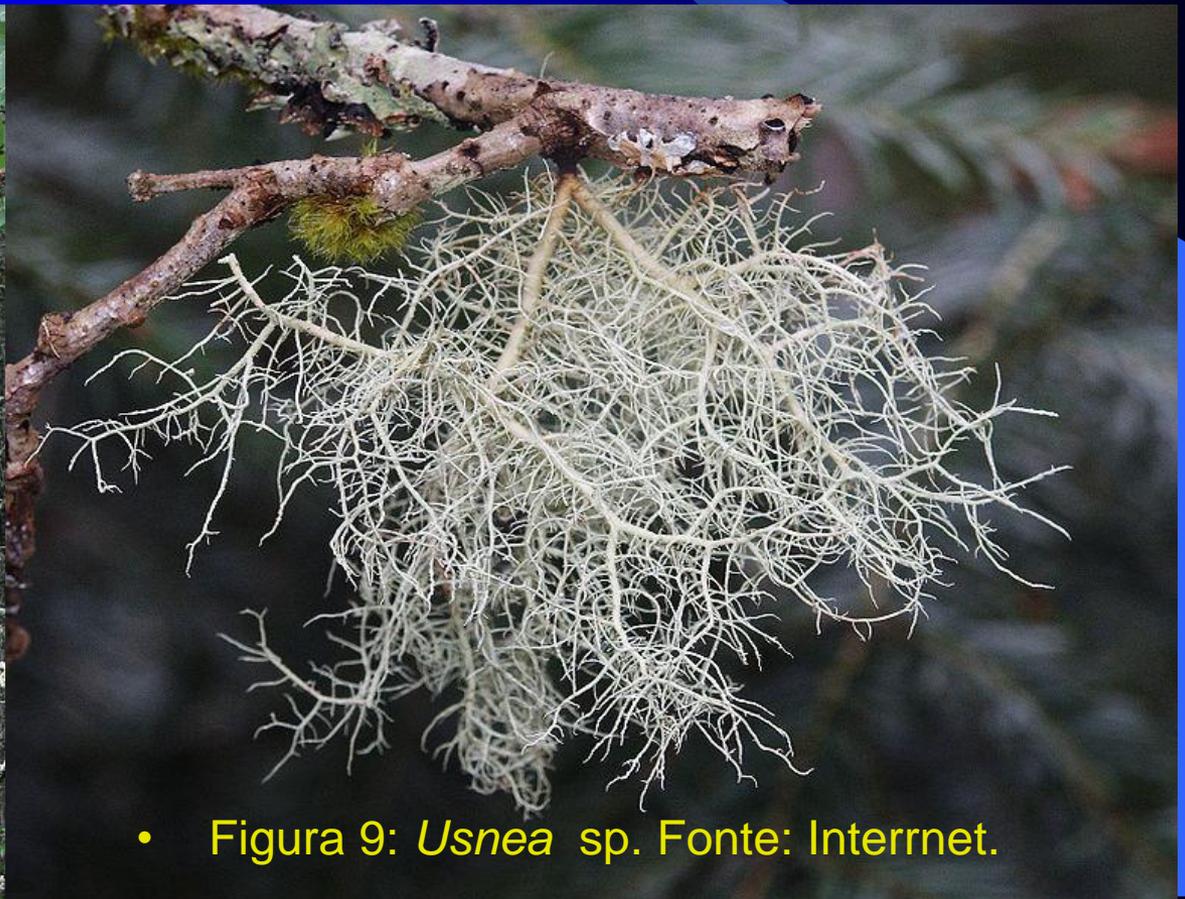
- Os líquens mostram alta sensibilidade a poluentes, não somente pela diminuição da sua vitalidade, como por sintomas externos característicos. Eles são reconhecidos por serem muito sensíveis à poluição atmosférica e, desde o século IX, são utilizados como bioindicadores, sendo objeto de vários trabalhos que visam o controle das alterações atmosféricas em vários locais.

-

• 4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• Líquens

- Gênero *Usnea*: semelhante à *Tilandsia*, mas é um líquen.
- Líquens da família Parmeliaceae, também chamados de barbas: Barba-de-homem, Líquen barba, Musgo de árvore.



• Figura 9: *Usnea* sp. Fonte: Internet.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• Líquens

• Gênero *Usnea*:

• Líquens da família Parmeliaceae, também chamados de barbas: Barba-de-homem, Líquen barba, Musgo de árvore.

• *Usnea barbata*, *U. b. amblyocada* produz ácido úsnico, antibiótico natural, principais espécies usadas como bioindicadores.

• *U. b. amblyocada* é geralmente intolerante à poluição atmosférica, podendo não crescer. Coletadas nas proximidades de minas de extração de Pb, nas províncias do Canadá e no Vale de St. Lawrey, EUA permitiram avaliar a composição isotópica de Pb nestes locais, possibilitando o primeiro mapeamento da distribuição isotópica de Pb no Nordeste da América do Norte .

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

- **Líquens**

- Gênero *Usnea*:

- *U. b. amblyoclada*: parâmetros bioquímicos e de crescimento em amostras transplantadas da espécie, submetidas à ação de poluentes atmosféricos contidos em emissões veiculares e industriais, foram avaliados na cidade de Córdoba, Argentina. Verificou-se que altas concentrações de clorofila e dos demais parâmetros analisados coincidem com a elevação dos níveis de partículas suspensas, hidrocarbonetos, oxônio (O₃) e ácido sulfídrico (H₂S) atmosférico.

-

- 4. 2. Outros vegetais e líquens como bioindicadores.
- **Líquens**
- Gênero *Parmelia* (próximo de *Usnea*, líquen crustáceo)



• Figura 10: *Parmelia* sp. Fonte: Internet.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• **Líquens**

- *Parmelia caperata*: em diversos estudos de biomonitoramento da qualidade do ar para análise de metais, avaliando as variações intra e inter-específicas na capacidade de bioacumulação.
- *Parmelia sulcata*: para análise de metais acumulados. Através da análise da concentração de elementos-traço nesta espécie, foram avaliadas as contribuições de vapores de fontes geotérmicas naturais para a contaminação da atmosfera, em dois locais do Monte Amiata na Itália.
- *Parmelia consparca*: no monitoramento da qualidade do ar em áreas vulcânicas ativas, pois a composição do líquen reflete a contribuição de partículas de material vulcânico (elemento de maior traço) em sua constituição.

- 4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

- **Líquens**

- Gênero *Xanthoria*: líquens crustáceos da família Teloschitaceae.



- Figura 11: *Xanthoria* sp. Fonte: Internet.

• 4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• Líquens

• Gênero *Xanthoria*: líquens crustáceos da família Teloschitaceae.



- Figura 12:
- *Xanthoria* sp.
- Fonte: Internet.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• **Líquens**

- *Xanthoria parietina*: como bioindicador de metais pesados em emissões atmosféricas. É tolerante às atmosferas poluídas com metais pesados. Foram analisadas as concentrações de Hg e outros elementos-traço, coletados nas proximidades de uma usina geo-termoelétrica, em Bagnore, Itália, verificando correlação linear entre os valores de concentrações de Hg nos líquens e nos ambientes expostos a emissões naturais e da usina.

- Foram analisadas concentrações de 27 elementos químicos provenientes de emissões vulcânicas em amostras de líquens presentes em troncos e rochas, no Monte Etna e Ilha Vulcano, Itália, com resultados significativos sobre a importância de líquens no monitoramento da qualidade do ar sob influência de emissões vulcânicas.

•4.2 Outros vegetais e líquens como bioindicadores.

• **Líquens**

- Amostras de líquens expostos a emissões atmosféricas industriais e ao tráfego de veículos foram analisadas para verificar as concentrações de metais como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), vanádio(V), zinco (Zn) e mercúrio (Hg).
- Com base na frequência da espécie, considerada sensível ao poluente da área de estudo, foi verificado o Índice de Impureza Atmosférica (IAP).

•5. Programas de biomonitoramento.

- Nos quadros que seguem, há vários exemplos de programas de monitoramento da qualidade do ar relacionados por Maia, 2001.

•5. Programas de biomonitoramento.

Tabela 1 – Métodos de monitoramento passivo empregados na Europa

Método	Poluentes	Parâmetro estudado
Mapeamento de comunidades líquênicas	Poluição geral	Cobertura, frequência, abundância
Coleta de briófitas	Poluição geral, metais pesados	Acúmulo de metais pesados
Avaliação de danos em florestas	Poluição geral	Danos visíveis, perda de folhas, acúmulo de enxofre e metais

•5. Programas de biomonitoramento.

Tabela 2 – Métodos de monitoramento ativo empregados na Europa

Espécie indicadora	Nome científico	Poluente	Parâmetro estudado
Líquens	<i>Hypogymnia physodes</i>	Poluição geral	Necroses (metais e poluentes orgânicos)
Musgos	<i>Sphagnum</i> sp.	Metais, S	Acúmulo
Cultura de azevém	<i>Lolium multiflorum</i> ssp.	Metais, S, F, PAH, dioxina e orgânicos	Acúmulo
Pinheiro	<i>Picea abies</i> (clones)	Metais, S, F, Cl, PAH, orgânicos	Acúmulo (danos visíveis)
Gladiolo	<i>Gladiolus</i> hybr.	Fluoreto	Necrose foliar
Tabaco	<i>N. tabacum</i>	Ozônio	Necrose foliar
Urtica	<i>Urtica urens</i>	Ozônio, PAN	Necrose foliar
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i> cv. Pinto	Ozônio	Necrose foliar
Choupo	<i>Populus</i> hybr. (clones)	Ozônio	Necrose foliar, crescimento, área foliar, perda de folhas
Trevo	<i>Trifolium repens</i> (clones)	Ozônio	Necrose foliar, biomassa
Couve	<i>Brassica oleracea acephala</i>	PAH	Acúmulo

Tabela 3 – Alguns exemplos de estudos com bioindicadores nativos ou tradicionalmente cultivados na América do Sul

Indicador	Poluente	Parâmetro	Região	Referência
<i>Ligustrum</i> (diversas espécies)	Poluição geral, SO ₂ , metais	Acúmulo, alterações bioquímicas e fisiológicas	Córdoba (Arg.) Porto Alegre/RG Venezuela	Pignata 1998 Flores 1995 Gordon et alii, 1995
<i>Mimosa</i> (<i>Mimosa</i> sp.)	Metais	Acúmulo	Cubatão/SP Camaçari/BA	Gutberlet 1996 Lima et alii, 1997b
<i>Capim-santo</i> (<i>Cymbopogon citratus</i>) Coentro (<i>Coriandrum sativum</i>)	Metais	Acúmulo	Camaçari/BA	Lima et alii, 1997a, b
<i>Bemero callis</i> sp.	Fluoreto	Necrose foliar, acúmulo	Cubatão/SP	Klumpp et alii, 1995
<i>Tillandsia</i> sp.	Poluição geral, metais	Acúmulo, alterações bioquímicas e fisiológicas	Colômbia São Paulo Córdoba (Arg.) Rio de Janeiro Alta Floresta/MT Porto Alegre/RG	Schrimpff, 1984 Figueiredo et alii, 2001 Coria et alii, 2001 Calasans e Malm 1997 Malm et alii, 1998 Flores, 1995
<i>Tibouchina pulchra</i>	Metais, SO ₂ , NO _x , fluoreto	Acúmulo, alterações bioquímicas	Cubatão/SP	Klumpp et alii, 1996b, 1998 Domingos, 1998 Domingos et alii, 1998
<i>Psidium guajava</i> , <i>P. cattleianum</i>	Poluição geral	Acúmulo, alterações bioquímicas	Cubatão/SP	Klumpp et alii, 1998
<i>Mangifera indica</i>	Poluição geral	Acúmulo, alterações bioquímicas	Camaçari/BA	Lima et alii, 2001
<i>Tradescantia</i> sp.	Substâncias genotóxicas	Mutações (micronúclei)	São Paulo Posadas (Arg.)	Batalha et alii, 1999 Hutterlocher 2000

•5. Programas de biomonitoramento.

- Mencionar um ou mais programas de biomonitoramento do ar com vegetais ou líquens descrevendo local, espécie e qual o mecanismo de biomonitoramento utilizado.