

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa
Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera

***Biomonitorização da qualidade do ar.
Caso-estudo na envolvente da fábrica de celulose
do Caima***

Elsa Jofre Pereira Dias Ferreira

“Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente”.

Orientador científico:
Professora Doutora **Fernanda Pessoa**

2008

Agradecimentos

A importância que esta dissertação tem para mim é inimaginável a qualquer uma das pessoas que a irão ler ou consultar. É certo que uma dissertação é um trabalho individual, mas também é certo que sem a ajuda preciosa de certas pessoas se tornaria impossível de realizar com a qualidade necessária aos objectivos propostos. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Doutora Maria Fernanda Pessoa, professora e orientadora, pelo carinho, conselhos e força dada para aguentar esta “viagem” até ao fim. Pela disponibilidade revelada ao longo destes anos. E pelas críticas e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

Ao 1º Sargento Joaquim Joaquim da Estação Meteorológica de Tancos pela pronta disponibilidade demonstrada, explicações e dados meteorológicos fornecidos.

Ao Eng. António Prates da Companhia de Celulose do Caima pela disponibilidade, pela visita feita à fábrica e todo o material de apoio e explicações que me foram fornecidos.

A todos os pacientes e compreensivos proprietários dos terrenos que eu tive que “assaltar” para levar a cabo todas as minhas amostragens.

À minha mãe, pelo estímulo e apoio incondicional desde a primeira hora. E pela ajuda inestimável nos cuidados familiares.

Ao meu companheiro, pelas inúmeras trocas de impressões, comentários ao trabalho e acima de tudo, pelo inestimável apoio familiar que preencheu as diversas falhas que fui tendo por força das circunstâncias, e pela paciência e compreensão reveladas ao longo destes meses.

E por último, à minha querida filha Inês pela compreensão e ternura sempre manifestadas apesar do “débito” de atenção.

Sumário

Nos últimos decénios, comprovou-se em numerosos estudos de campo e de laboratório a relação existente entre os níveis de contaminação atmosférica de uma zona específica e os efeitos mostrados pelos líquenes, especialmente aqueles que se desenvolvem sobre os troncos e ramos de árvores, os chamados líquenes epífitos. Foram estes mesmos organismos que se utilizaram neste trabalho experimental, com o objectivo de monitorizar a qualidade do ar na envolvente da fábrica de celulose do Caima situada em Constância.

Abstract

In the last decenniums, it was proved in numerous laboratories and field studies the relation between levels of atmospheric contamination of a specific zone and the effect shown by lichens, especially those that grow on the trunks and branches of trees: the epiphytic lichens. These organisms were used in this experimental work with the aim of monitoring the air quality in the involving of the plant of cellulose of Caima in Constância.

Índice de Matérias

Índice de Figuras	6
Índice de Quadros	7
Introdução	8
1. OS LÍQUENES	10
1.1 Líquenes incrustantes	11
1.2 Líquenes foliáceos	11
1.3 Líquenes fruticulosos.....	12
1.4. As funções dos líquenes	13
2. Os Líquenes e a Contaminação Atmosférica.....	15
3. Alguns métodos utilizados na biomonitorização.....	18
3.1. Método da elaboração de mapas.....	19
3.4. Índice de Pureza Atmosférica (IPA).....	24
3.4.1. A metodologia IPA	25
3.4.2. A equação do IPA (De Sloover e Leblanc, 1968)	28
3.5. Métodos fitossociológicos	30
3.6. Método de resposta directa	32
3.7. Método por bioacumulação de elementos	33
3.8. Método da biomonitorização activa	34
3.9. Método da abundância de espécies.....	36
3.10. O projecto Sinesbioar	36
4. Caso-Estudo: A envolvente da fábrica de celulose do Caima em Constância.	41
4.1 – O concelho de Constância	42
4.1. – Metodologia utilizada.....	48
4.2 - Resultado da Biomonitorização	56
4.3 - Avaliação dos resultados.....	61
4.4 – Análise estatística dos resultados – Correlação de Pearson	70
Conclusão	72
Referências bibliográficas	74

Índice de Figuras

Figura 1-1: Líquenes incrustantes numa rocha de granito em Rocky mountains (EUA). Os líquenes amarelos são <i>Acarospora spp.</i> ; os vermelhos são <i>Caloplaca spp.</i> ; e os verdes <i>Lecanora spp.</i> . (Fonte: www.cartage.org.lb).....	11
Figura 1-2: <i>Pseudocyphellaria anthraxis</i> . (Fonte: www.cartage.org.lb).....	12
Figura 2-1: Em localidades onde os troncos aparecem pouco cobertos de líquenes, os níveis de contaminação atmosférica sobem até chegar a situações em que a ausência é total, fenómeno que se conhece como deserto liquénico, e que se costuma apresentar em zonas fortemente industrializadas ou no centro de grandes cidades. (Foto tirada em Cistierna (Espanha) por A. B. Fernández Salegui).	17
Figura 3-1: Índice de biodiversidade de líquenes <i>versus</i> Mortalidade por cancro de pulmão. (estudo comparativo efectuado por Cislighi e Nimis, em 1997).	25
Figura 3-2: Alterações morfológicas causadas por mudanças ambientais na espécie <i>Hypogymnia</i> ...	32
Figura 3-3: Fotos de transplantes de líquenes da espécie <i>Parmelia hypoleucina</i> Steiner colocada em placas de cortiça afixadas com fio de nylon e expostas à atmosfera urbana nas imediações do Instituto do Ambiente em Alfragide. (Branquinho <i>et al.</i> , 2004).....	35
Figura 3-4: Fotos de transplantes de líquenes da espécie <i>Usnea spp.</i> colocada em sacos de rede de nylon afixadas com fio de nylon e expostas à atmosfera urbana nas imediações do Instituto do Ambiente em Alfragide. (Branquinho <i>et al.</i> , 2004).....	35
Figura 3-5: Fotografia do <i>reticulum</i> utilizado no projecto.....	36
Figura 3-6: Mapa de resultados (http://www.ccdr-a.gov.pt/sinesbioar/).....	37
Figura 3-7: Mapa interpolado da associação dos elementos ferro, alumínio, cobalto e titânio. As zonas a vermelho apresentam concentrações mais elevadas destes elementos, enquanto que as zonas a azul apresentam concentrações menores (Augusto <i>et al.</i> , 2006).	39
Figura 3-8: Mapa interpolado da associação de elementos mercúrio, chumbo, zinco e cobre. As zonas a vermelho apresentam concentrações mais elevadas destes elementos, enquanto que as zonas a azul apresentam concentrações menores (Augusto <i>et al.</i> , 2006).	39
Figura 4-1: Localização e caracterização do Concelho de Constância (fonte: INE).....	41
Figura 4-2: Carta das freguesias do concelho de Constância (fonte: SNIG).....	42
Figura 4-3: Carta Hipsométrica de Constância (fonte: SNIG).....	45
Figura 4-4: Carta de Exposições	46
Figura 4-5: Delimitação das 3 zonas de amostragem à escala 1: 25 000	48
Figura 4-6: Delimitação das 3 zonas de amostragem à escala 1: 50 000	49
Figura 4-7: Exemplo para construção do <i>reticulum</i>	51
Figura 4-8: Exemplo de cálculo da frequência total de espécies.....	51
Figura 4-9: Exemplo de colocação do <i>reticulum</i> pelo método ANPA (2001).	54
Figura 4-10: Mapa de resultados da biomonitorização em 2003 (escala 1/25 000) pela metodologia de Nimis (1999).....	57
Figura 4-11: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/25 000) pela metodologia de Nimis (1999).....	57
Figura 4-12: Mapa de resultados da biomonitorização em 2003 (escala 1/50 000) pela metodologia de Nimis (1999).....	58
Figura 4-13: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/50 000) pela metodologia de Nimis (1999).....	58
Figura 4-14: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/25 000) pela metodologia da ANPA (2001).....	61
Figura 4-15: Coordenadas geográficas de destino da frequência (%) do rumo dos ventos da estação meteorológica de Tancos/Base Aérea.....	62
Figura 4-16: Mapa de resultados da biomonitorização 2003 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/25 000).	63
Figura 4-17: Mapa de resultados da biomonitorização 2007 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/25 000).....	63
Figura 4-18: Mapa de resultados da biomonitorização 2003 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/50 000).	64
Figura 4-19: Mapa de resultados da biomonitorização 2007 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/50 000).	64

Índice de Quadros

Quadro 3-1 - Escala de estimativa da qualidade do ar em Inglaterra e no País de Gales, com base em líquenes encontrados em troncos de árvores não eutrofizadas (estudo de Hawksworth & Rose, 1970)	21
Quadro 3-2 - Escala de estimativa da qualidade do ar da metade norte de França (estudo de Van Haluwyn et Lerond - 1986 - modificado em 1997).	23
Quadro 3-3: Escala fitossociológica para estimativa da poluição do ar (ácida) do sul da Alemanha. Escala de sensibilidade relativa (revista por Wirth, 1988), 1: baixa resistência, 14: alta resistência.	31
Quadro 4-1: Modelo de classificação da qualidade do ar pelo método IPA.	52
Quadro 4-2: Categoria de árvores por pH.	53
Quadro 4-3: Escala de naturalidade/alteração adoptada para interpretar o IBL na região bioclimática su-mediterrânea seca.	55
Quadro 4-4: <i>Reticulum</i> (Nimis, 1999) vs. <i>Reticulum</i> (ANPA, 2001).	56
Quadro 4-5: Quadro-resumo dos resultados de 2003 e 2007 da biomonitorização na envolvente da fábrica de celulose do Caima – Constância pela metodologia de Nimis (1999)..	59
Quadro 4-6: Coordenadas geográficas de destino da frequência (%) do rumo dos ventos da estação meteorológica de Tancos/Base Aérea.	61
Quadro 4-7: Géneros observados na biomonitorização da qualidade do ar da envolvente da fábrica de celulose do Caima - Constância.	68
Quadro III-1 – Ponderação dos valores da amostragem da Biomonitorização na envolvente da fábrica de celulose do Caima - Constância.	93

Introdução

A progressiva industrialização trouxe consigo um incremento nas emissões de substâncias tóxicas para a atmosfera. Esta contínua degradação da qualidade do ar exige a existência de um controlo da mesma a fim de salvaguardar a saúde pública e ambiental.

As modernas estações instrumentais de amostra de qualidade constituem um método de medida de algumas substâncias tóxicas presentes no ar. Mas há que ter em conta que as concentrações de contaminantes na atmosfera variam enormemente no espaço e no tempo, pelo que seria necessário uma densa rede de pontos de amostragem, durante largos períodos de tempo, que permitissem realizar estudos com uma base estatística aceitável. Como esta desejável densa rede de pontos de amostragem tem custos elevados e inoportáveis, é fácil de prever que é devido ao seu elevado custo que a sua utilização é muito limitada.

Todavia, a monitorização puramente instrumental não permite amostrar os efeitos da contaminação atmosférica sobre os ecossistemas, nem prediz os efeitos sinérgicos dos poluentes. Todo o material de amostragem não é suficiente para sabermos se o ar está ou não contaminado e quais são os seus efeitos. Torna-se necessário olhar à volta e analisarmos a influência de numerosas variáveis ecológicas sobre o ambiente.

Outro método de estimativa de contaminantes é a denominada **biomonitorização** ou por outras palavras, trata-se da amostra das alterações ambientais no qual se utilizam parâmetros biológicos. É claro que os seres vivos não são utilizados como centrais de amostragem que oferecem valores numéricos, mas sim como informadores dos desvios das condições normais perante processos como a contaminação. A biomonitorização não é um método alternativo ao instrumental, mas é complementar, já que proporciona grande informação com respeito à

contaminação, individualizando possíveis zonas de risco, e otimizando a localização dos instrumentos de medida.

Utilizando organismos vivos pode estudar-se o efeito de todos os contaminantes actuando conjuntamente, já que um bioindicador é um integrador, coisa que não ocorre com as estações automáticas instrumentais de amostra de qualidade do ar.

As variações ecológicas devidas à contaminação atmosférica que se produzem num organismo, podem manifestar-se a 3 níveis (Salegui, 2002):

1. Acumulação de substâncias contaminantes nos organismos.
2. Modificações morfológicas ou estruturais nos organismos.
3. Alterações na composição da comunidade animal e/ou vegetal.

Nos últimos decénios, comprovou-se a capacidade de alguns organismos de expressar, na qualidade de indicadores biológicos, dados úteis para a monitorização ambiental. Comprovou-se em numerosos estudos de campo e de laboratório a relação existente entre os níveis de contaminação atmosférica de uma zona específica e os efeitos mostrados pelos líquenes, especialmente aqueles que se desenvolvem sobre os troncos e ramos de árvores, os chamados **líquenes epífitos**. Porque em zonas onde a qualidade do ar é muito boa, os líquenes cobrem completamente os troncos e ramos de árvores, também associados ao teor de humidade relativa presente na camada atmosférica. É sabido que a poluição aumenta a temperatura do ar.

1. OS LÍQUENES

Estes organismos são o resultado de uma relação simbiótica entre fungos e um ou vários organismos fotossintéticos (algas e/ou cianobactérias), originando um corpo vegetativo estável (o talo) com uma estrutura, fisiologia e ecologia próprias, diferente da que têm os fungos e algas de vida livre. A alga fornece os nutrientes ao fungo através do processo da clorofila, e por sua vez, o fungo fornece à alga a estrutura de suporte (o talo) que lhe permite estar fixa ao substrato. A este processo chama-se liquenização (Lorente e Sanchez, 2000).

Esta associação permitiu a colonização por parte dos líquenes de alguns meios inóspitos para outros seres vivos, como é o caso de rochedos costeiros, zonas polares ou desérticas, só não sendo ainda conhecidos nas profundezas dos oceanos. Sem dúvida que a liquenização tem sido uma estratégia com sucesso do ponto de vista evolutivo, já que produziu uma grande diversificação: estima-se que existam cerca de 13 500 espécies diferentes de líquenes em todo o mundo (Lorente e Sanchez, 2000).

Os líquenes além de poderem crescer em meios inóspitos podem fazê-lo em diferentes substratos, e com base no substrato onde vivem são então classificados, de acordo com Lorente e Sanchez, em:

- **Líquenes epífitos**, crescem nos troncos e ramos das árvores (e são estes o objecto deste estudo);
- **Líquenes rupícolas**, crescem em substratos rochosos;
- **Líquenes terrícolas**, crescem em substratos terrosos;
- **Líquenes zoobióticos**, crescem sobre o tecido morto de animais, tais como, conchas de tartarugas ou o exoesqueleto dos insectos.

Baseando-nos no seu aspecto externo, podemos agrupar os líquenes em 3 tipos fundamentais de formas de crescimento: líquenes incrustantes, líquenes foliáceos e líquenes fruticulosos.

1.1 Líquenes incrustantes

São líquenes fortemente aderidos ao substrato, de tal forma que não se podem separar deste sem destruí-lo.



Figura 1-1: Líquenes incrustantes numa rocha de granito em Rocky mountains (EUA). Os líquenes amarelos são *Acarospora spp.*; os vermelhos são *Caloplaca spp.*; e os verdes *Lecanora spp.* .(Fonte: www.cartage.org.lb)

1.2 Líquenes foliáceos

O típico talo dos líquenes foliáceos apresenta uma estrutura dorsiventral, quer dizer, em forma de lâmina ou folha mais ou menos plana, só parcialmente aderida ao substrato. Ao contrário do que ocorre com os líquenes incrustantes, os líquenes foliáceos podem separar-se com relativa facilidade do substrato, por exemplo, com um canivete.



Figura 1-2: *Pseudocyphellaria anthraspis*. .(Fonte: www.cartage.org.lb)

1.3 Líquenes fruticulosos

Este biótipo é o mais evoluído de todos e caracteriza-se por desenvolverem talos formados por tiras largas, em forma de pequenos arbustos, que faz lembrar mechas de pêlos. É também de entre os três tipos de formas liquénicas existentes, o mais sensível à poluição atmosférica.

O talo encontra-se aderido ao substrato unicamente por um ponto. A sua estrutura pode ser dorsiventral, com duas faces (*e.g. Evernia prusnastri*), ou mais ou menos cilíndrica (*e.g. Usnea* spp., fig. 1-4). Alguns géneros como *Cladonia* (fig. 1-5) apresentam talos compostos com uma parte fruticulosa. Encontram-se abundantemente em zonas com elevada humidade atmosférica.



Figura 1-3: *Usnea spp.* (Fonte: www.cartage.org.lb)



Figura 1-4: *Cladonia macilenta.*
(Fonte: www.cartage.org.lb)

1.4. As funções dos líquenes

Ainda que em aparência os líquenes pareçam inertes, estes organismos simbióticos têm importantes funções nos ecossistemas. Uma das principais é a da degradação superficial das rochas e a formação dos solos. Os líquenes têm a capacidade de estabelecer-se como pioneiros durante a colonização de sítios rochosos carentes de vegetação, e com o tempo preparar o substrato para o desenvolvimento sucessivo de distintas plantas. Também, muitos dos líquenes em simbiose com cianobactérias fixam o azoto atmosférico elementar, enriquecendo os solos, principalmente nas regiões boreais e em bosques temperados. Nas tundras, os líquenes sustentam em grande parte a vida animal, já que nestas regiões as renas alimentam-se principalmente de certos exemplares que cobrem grandes extensões de solo. Noutras regiões

constituem um habitat eficaz e servem como fonte de alimento a vermes, insectos, aracnídeos, ácaros e moluscos.

Em vários países nórdicos os líquenes são utilizados como forragem para os animais domésticos, já que as espécies que ali crescem contêm um polissacárido semelhante ao amido – a liquenina – que inclusivamente é utilizado para fazer pão (Coutiño *et al.*, 2000).

Outras espécies de líquenes têm diversas aplicações do ponto de vista industrial já que se utilizam, por exemplo, na indústria de perfumaria como fixadores das essências aromáticas. E refira-se como curiosidade que a primeira tintura de tornesol usada em química para a determinação do pH foi obtida a partir dos líquenes (Coutiño *et al.*, 2000).

Em medicina utilizam-se algumas substâncias de origem liquénica que inibem o crescimento de bactérias e fungos. Tal é o caso do ácido úsnico (presente nos géneros *Usnea*, *Ramalina*, *Cladonia*, *Parmelia* e *Evernia*), que se utiliza na elaboração de pomadas, e que se demonstrou ser mais eficiente que os unguentos antibióticos convencionais para o tratamento de lesões provocadas por queimaduras (Coutiño *et al.*, 2000).

Uma das aplicações mais recentes é a da utilização dos líquenes como bioindicadores de certos contaminantes atmosféricos, função essa que é analisada neste trabalho.

2. Os Líquenes e a Contaminação Atmosférica

Os líquenes foram reconhecidos mundialmente como sendo organismos muito sensíveis frente aos nocivos efeitos da contaminação atmosférica, actuando como monitores contínuos e integradores das condições ambientais. Conseguiu demonstrar-se que a contaminação atmosférica afecta os líquenes de forma drástica, mesmo quando outros seres vivos ainda não mostram nenhum sintoma de terem sofrido qualquer dano (Salegui, 2002).

A eficácia dos líquenes como bioindicadores da contaminação atmosférica, especialmente frente ao SO₂, é bem conhecida, e deve-se à sua particular biologia. Como não têm raízes nem sistemas vasculares, os líquenes dependem completamente da atmosfera e do substrato onde vivem, para o seu metabolismo. Diferentes das plantas vasculares, não possuem cutícula, pelo que os processos de absorção de aerossóis e gases têm lugar em toda a superfície dos seus talos. São organismos perenes, com crescimento muito lento e grande longevidade (a média de vida de um líquen é superior à média de vida de um Homem, podendo algumas espécies viver mais de 2 000 anos), o que permite realizar estudos de monitorização durante extensos períodos de tempo. O seu lento metabolismo e grande longevidade são as características que favorecem a capacidade dos líquenes de acumular diversos contaminantes em concentrações geralmente superiores às das plantas vasculares que vivem em seu redor, embora o lento metabolismo seja também a característica que limita o poder de recuperação depois de uma intoxicação por contaminantes. Os líquenes absorvem tudo o que o ar lhes proporciona, não distinguindo entre partículas úteis para o seu crescimento e substâncias contaminantes prejudiciais (e.g. metais pesados, radioisótopos) (Lorente *et al.*, 2000).

A todas estas características cabe ainda acrescentar a estreita tolerância ecológica de muitas espécies de líquenes, já que, por exemplo, algumas espécies são muito sensíveis às variações de pH do substrato onde vivem. O dióxido de enxofre (SO₂), que em contacto com água produz ácido sulfúrico, é capaz de produzir a acidificação do meio em que se deposita, afectando, portanto, as espécies de líquenes que ali vivem (Lorente *et al.*, 2000).

Outro aspecto destacável diz respeito à diferente sensibilidade das espécies de líquenes com respeito a um contaminante concreto, já que nem todas as espécies de líquenes respondem da mesma maneira às alterações do meio, o que permite, mediante o estudo das espécies presentes num determinado território (espécies sensíveis ou tolerantes) quantificar o grau de contaminação. A resposta produz-se de forma gradual, conforme vá aumentando o nível de contaminação, existindo espécies de líquenes sensíveis que desaparecem de uma determinada zona com as primeiras alterações da atmosfera, ao mesmo tempo que espécies mais resistentes vão aumentando a sua presença nessa zona.

Se observarmos o tronco de uma árvore e virmos que está coberto em grande parte por uma grande diversidade de líquenes epífitos, considerados sensíveis, e bem aderidos, então é grande a probabilidade de podermos respirar tranquilos. Pelo contrário, um conjunto de líquenes com formas e colorações anormais, com crescimento escasso, indica-nos uma degradação da qualidade do ar. E se a contaminação continua a fazer-se, vai chegar a um nível a partir do qual desaparece todo o vestígio de líquenes epífitos, é o denominado deserto liquénico. Da mesma maneira, os líquenes podem recolonizar um ambiente urbano e/ou industrial no qual se tenha produzido um melhoramento das condições ambientais, como já vem acontecendo em numerosas áreas da Europa.

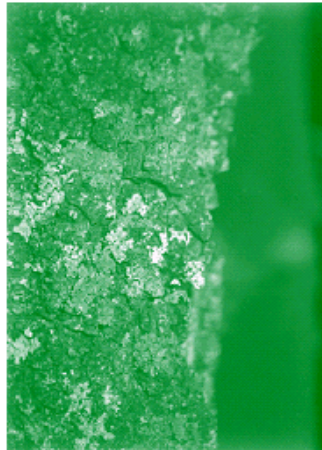


Figura 2-1: Em localidades onde os troncos aparecem pouco cobertos de líquenes, os níveis de contaminação atmosférica sobem até chegar a situações em que a ausência é total, fenómeno que se conhece como deserto liquénico, e que se costuma apresentar em zonas fortemente industrializadas ou no centro de grandes cidades. (Foto tirada em Cistierna (Espanha) por A. B. Fernández Salegui).

Os contaminantes podem produzir os seguintes efeitos nos líquenes (Lorente *et al.*, 2000):

- **Efeitos metabólicos e fisiológicos:** alterações na fotossíntese e respiração; degradação dos pigmentos fotossintéticos; libertação de alguns cationes associados a danos na membrana celular; inibição da fixação de N_2 ;
- **Alterações morfológicas e anatómicas:** aparecem manchas e fissuras no talo; nas algas produz-se a degeneração dos organitos celulares, a vacuolização e, no final, a plasmólise, diminui o tamanho dos talos e estes desprendem-se do substrato; apresentam-se também alterações no crescimento e na actividade reprodutora;
- **Efeitos sobre as comunidades:** desaparecimento de espécies sensíveis, substituição destas por espécies tolerantes e/ou empobrecimento da flora liquénica.

3. Alguns métodos utilizados na biomonitorização

A biomonitorização por líquenes poderá ser feita de três modos: utilizando variações na diversidade e/ou abundância; utilizando variações dos parâmetros fisiológicos; ou utilizando os líquenes como acumuladores de poluentes (Branquinho, 2001 vide Pinho *et al.*, 2004).

As primeiras observações sobre a sensibilidade dos líquenes à contaminação atmosférica surge no século XIX, quando Nylander estuda em 1866 os líquenes dos “Jardins du Luxembourg” em Paris e, 30 anos depois, comprova que todos tinham desaparecido. Sugeriu que os líquenes eram uma espécie de higrómetro muito sensível, que indicava a salubridade do ar, e verificou que a maior parte dos líquenes desaparecia do centro das cidades – o chamado deserto liquénico - e que aqueles que não desapareciam apresentavam um estado de desenvolvimento incompleto. A partir desse momento, mas muito especialmente nos últimos 30 anos, são muitos os investigadores que reivindicam as ideias de Nylander e surgem com numerosos trabalhos que usam os líquenes como indicadores da qualidade do ar (Lorente *et al.*, 2000).

A monitorização poderá ser qualitativa ou quantitativa e utilizar uma única espécie indicadora ou uma comunidade de espécies. A escolha do método dependerá dos objectivos a atingir, o tamanho da área em estudo e dos recursos utilizados.

3.1. Método da elaboração de mapas

Uma aproximação clássica do uso dos líquenes como bioindicadores de contaminação atmosférica, é a elaboração de mapas com base nas espécies de líquenes presentes em diferentes pontos de uma determinada área.

O primeiro estudo deste tipo foi realizado por Sernander, em 1926, na cidade de Estocolmo, onde foram diferenciadas 3 zonas distintas (Lorente *et al.*, 2000):

1. Uma zona onde os líquenes epífitos estavam ausentes, a que chamou “deserto de líquenes”;
2. Uma zona de transição onde os líquenes eram escassos, a “zona de luta”;
3. Uma zona onde os líquenes cresciam com normalidade, a “zona normal”.

Desde então muitos outros estudos se têm efectuado, e o chamado “efeito cidade” – a ausência ou escassez de líquenes nos centros urbanos ou industriais e/ou em seus arredores – ficou claramente demonstrado.

3.2. Método de Hawksworth & Rose (1970)

Um dos trabalhos que mais repercussão teve foi o publicado por Hawksworth & Rose em 1970. Estes autores elaboraram uma lista de espécies de líquenes epífitos, em que relacionaram a sua presença ou ausência num dado território, com a concentração de SO₂ do ar, ou seja, desenvolveram uma escala semiquantitativa em que relacionaram a presença ou ausência de umas 50 espécies de líquenes epífitos com as concentrações médias invernais de SO₂ na atmosfera, de tal forma que chegaram a diferenciar 10 zonas na Grã-Bretanha em função da qualidade do ar. Esta escala tem tido resultados muito eficazes na biomonitorização do SO₂ da Grã-Bretanha (quadro 3-1).

É de notar, que a sensibilidade das distintas espécies pode ser diferente noutros territórios, já que esta está também relacionada com factores climáticos (os líquenes em tempo seco são menos sensíveis ao SO₂) ou a factores corológicos (uma espécie que esteja localizada no extremo da sua área de distribuição torna-se mais sensível do que se se encontrasse na sua zona de localização óptima). Portanto, o uso deste tipo de escalas deve adaptar-se para cada território, questão esta de crucial importância na Península Ibérica, que é muito heterogénea no que diz respeito às condições do meio.

Quadro 3-1 - Escala de estimativa da qualidade do ar em Inglaterra e no País de Gales, com base em líquenes encontrados em troncos de árvores não eutrofizadas (estudo de Hawksworth & Rose, 1970)

ZONAS	ESPÉCIES DE LÍQUENES	SO ₂ (µg.m ⁻³)
0	Inexistência de líquenes epífitos.	
1	<i>Pleurococcus viridis</i> limitado à base do tronco.	170
2	<i>Pleurococcus</i> s.l. ao longo do tronco; <i>Lecanora conizaeoides</i> limitado à base do tronco.	150
3	<i>Lecanora conizaeoides</i> ao longo do tronco; <i>Lepraria incana</i> torna-se frequente na base.	125
4	<i>Hypogymnia physodes</i> e/ou <i>Parmelia saxatilis</i> ou <i>Parmelia sulcata</i> aparecem na base. <i>Lecidea scalaris</i> , <i>Lecanora expallens</i> e <i>Chaenotheca ferruginea</i> frequentemente presentes.	70
5	<i>Hypogymnia physodes</i> ou <i>P. saxatilis</i> estendem-se aos 2.5 metros ou mais ; <i>P. glabratula</i> , <i>P. subrudecta</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> et <i>Lecanora chlorotera</i> começam a aparecer ; <i>Calicium viride</i> , <i>Lepraria candelaris</i> , <i>Pertusaria amara</i> podem aparecer . Se <i>Ramalina farinacea</i> e <i>Evernia prunastri</i> estão presentes então estão limitados à base ; <i>Platismatia glauca</i> podem estar presentes sobre os ramos horizontais.	60
6	<i>Parmelia caperata</i> presentes pelo menos na base; abastadas comunidades de <i>Pertusaria</i> (<i>P. albescens</i> , <i>P. hymenea</i>) e de <i>Parmelia</i> (<i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i>) , <i>Graphis elegans</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> e <i>Alectoria fuscescens</i> presentes nas regiões montanhosas.	50
7	<i>Parmelia caperata</i> , <i>P. revoluta</i> , <i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i> estendem-se sobre o tronco; aparecem <i>P. hemisphaerica</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>Rinodina roboris</i> e <i>Arthonia impolita</i> .	40
8	<i>Usnea ceratina</i> , <i>Parmelia perlata</i> ou <i>P. reticulata</i> aparecem ; extensões de <i>Rinodina roboris</i> ; <i>Normandina pulchella</i> e <i>U. rubigena</i> geralmente presentes.	35
9	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>L. amplissima</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> , <i>Dimerella lutea</i> ou <i>Usnea florida</i> presentes ou líquenes crustáceos muito bem desenvolvidos havendo geralmente mais de vinte e cinco espécies sobre as árvores bem iluminadas.	30
10	<i>Lobaria amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Pannaria</i> sp., <i>Usnea articulata</i> , <i>Usnea filipendula</i> ou <i>Teloschistes flavicans</i> .	puro

3.3. Método *Van Haluwyn et Lerond (1986)*

Este método permite seleccionar um pequeno número de espécies características de uma certa área, numa certa época, escolhidas para facilitarem a sua identificação (mesmo por não especialistas), e desenvolver uma escala compreendida por 7 zonas de poluição classificadas de A a G:

- **A** é a zona onde a poluição está no seu máximo, o SO₂ está extremamente activo, não existem líquenes, é o chamado deserto liquénico.
- **B, C e D** correspondem às zonas de poluição muito forte, forte, ligeiramente forte; na zona D as árvores apresentam menos de 10 espécies liquénicas diferentes (sobretudo de líquenes crustáceos) .
- **E** é uma zona de poluição média em que se encontram alguns líquenes foliáceos e um fruticuloso.
- **F e G** são zonas de poluição fraca e muito fraca, onde a riqueza de líquenes é muito significativa; certos troncos estão fortemente cobertos de foliáceos e de fruticulosos.

Quadro 3-2 - Escala de estimativa da qualidade do ar da metade norte de França (estudo de Van Haluwyn et Lerond - 1986 - modificado em 1997).

Zonas	Nível de poluição	Espécies de líquenes
A	Extremamente forte	<i>Pleurococcus viridis</i> (alga)
B	Muito forte	<i>Buellia punctata</i> , <i>Lecanora conizaeoides</i>
C	Forte	<i>Lecanora expallens</i> , <i>Lepraria incana</i>
D	Ligeiramente forte	<i>Diploicia canescens</i> , <i>Lecidella elaeochroma</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Physcia tenella</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i>
E	Média	<i>Candelariella xanthostigma</i> , <i>Evernia prunastri</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Physcia adscendens</i> , <i>Physconia grisea</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Xanthoria parietina</i>
F	Fraca	<i>Parmelia acetabulum</i> , <i>Parmelia caperata</i> , <i>Parmelia glabratula</i> , <i>Parmelia pastillifera</i> , <i>Parmelia soledians</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> , <i>Parmelia subrudecta</i> , <i>Parmelia tiliacea</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Pertusaria pertusa</i> , <i>Phlyctis argena</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Xanthoria candelaria</i>
G	Muito fraca	<i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Parmelia perlata</i> , <i>Parmelia reticulata</i> , <i>Parmelia revoluta</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Physconia distorta</i> (= <i>pulverulacea</i>), <i>Ramalina fraxinea</i>

3.4. Índice de Pureza Atmosférica (IPA)

Outros autores elaboraram diversos índices a fim de quantificar a pureza da atmosfera. Estes índices basearam-se fundamentalmente na diversidade de espécies de líquenes epífitos de uma dada zona (número, frequência e cobertura).

De Sloover e Leblanc, em 1968, propõem o chamado Índice de Pureza Atmosférica (IPA), que se baseia fundamentalmente na diversidade de espécies de líquenes epífitos presentes numa determinada área. Posteriormente, outros autores elaboraram diversos índices para quantificar a pureza da atmosfera. Ammann *et al.*, em 1987, estudou a relação existente entre 20 diferentes propostas existentes para o cálculo do IPA, e comparou-as com as concentrações de 8 contaminantes atmosféricos. Desta forma obteve uma expressão matemática que lhe permitiu prever a concentração de contaminantes com uma fiabilidade superior a 97%, sendo paradoxalmente a mais simples de todas as fórmulas propostas.

Com os resultados obtidos na aplicação do IPA, realizam-se mapas de risco nos quais se marcam diferentes zonas em função do seu grau de contaminação atmosférica, englobando dentro da mesma zona, locais compreendidos dentro do mesmo intervalo de concentração de contaminantes. Existem estudos deste tipo realizados a nível mundial. E um dos estudos mais conhecidos foi o realizado na província de Veneza (Itália) por Cislighi e Nimis, em 1997. Este mapa quando comparado com o mapa de risco por mortalidade devida a cancro do pulmão na dita província, mostra uma impressionante coincidência das zonas de maior contaminação com as zonas de maior mortalidade (fig. 3-1).

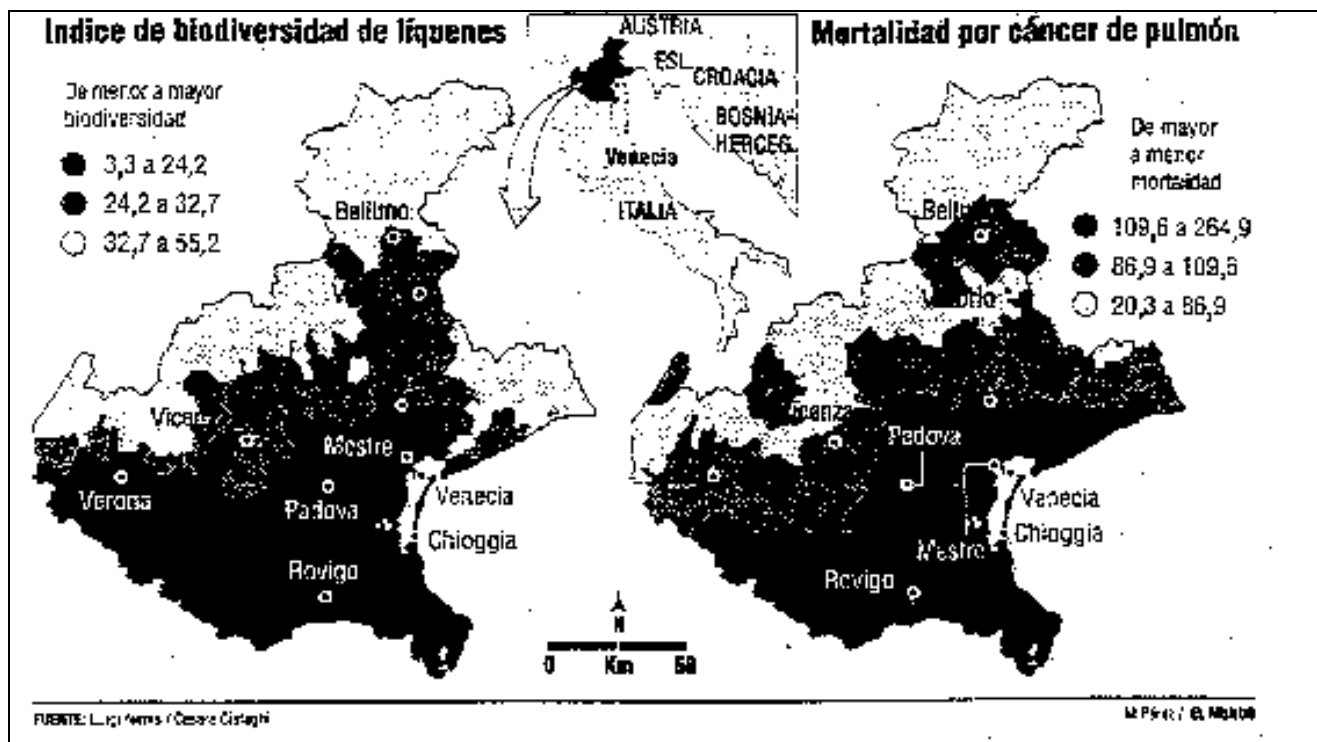


Figura 3-1:Índice de biodiversidade de líquenes *versus* Mortalidade por cancro de pulmão. (estudo comparativo efectuado por Cislighi e Nimis., em 1997).

3.4.1. A metodologia IPA

Dependentes de uma série de factores ambientais, aqueles que podem determinar uma forma importante da distribuição dos líquenes, são:

F1 – **Forófito**. É essencial avaliar cada estação de amostragem com base na espécie de árvore considerada como forófito. Podem existir diferenças na diversidade da flora líquénica dependendo da espécie arbórea considerada.

F2 – **Microclima**. É extremamente importante para os líquenes epífitos. Para que se possam comparar as estações de amostragem, estas devem ser o mais similares possíveis no que ao microclima diz respeito.

É necessário restringir a amostragem a árvores verticais dado que a pendente de um tronco pode ter forte influência sobre o microclima, bem como os troncos que se encontram em zonas pouco iluminadas pelo sol.

Deverão excluir-se as árvores demasiado delgadas e jovens uma vez que a vegetação líquénica estará, geralmente, num estado de desenvolvimento pouco avançado.

F3 – **Clima**. As diferenças climáticas que possam existir numa zona não se podem excluir do método de amostragem e devem ser tidas em conta na interpretação dos resultados.

F4 – **Eutrofização**. A eutrofização do forófito através da utilização de fertilizantes ocorre nas envolventes de campos agrícolas, pastos, jardins, etc. Este factor tem um efeito distinto sobre a vegetação epífita e a sua presença é muito difícil de determinar, já que geralmente é detectada a partir dos líquenes epífitos. É por isso recomendável excluir as árvores eutrofizadas.

Existem muitos outros factores com uma influência directa ou indirecta sobre os epífitos, só que em muitos casos não se conhece muito bem esta influência, como por exemplo, feridas no tronco das árvores, acumulação de pó, estrutura da casca (lisa ou rugosa) e o pH.

As condições de absoluta homogeneidade não se dão na natureza, dada a complexidade dos factores ambientais que entram em jogo, portanto, deverão ter-se em conta as seguintes condições na selecção de áreas e recolha de dados:

C1 – A **unidade de amostragem** para o estudo da flora liquénica é a estação de amostragem, formada por um grupo de cinco árvores da mesma espécie o mais perto possível umas das outras.

C2 – Em cada estação deverão realizar-se um **máximo de cinco inventários**, cada um deles num forófito diferente.

C3 – Só se deverão amostrar árvores adultas sãs e aproximadamente com o **mesmo diâmetro** de tronco principal. Excluindo-se árvores inclinadas e de casca rugosa.

C4 – A **altura de amostragem** sobre cada tronco deverá estar compreendida entre 35 e 160 cm, com o objectivo de evitar a influência do solo e dos ramos.

3.4.2. A equação do IPA (De Sloover e Leblanc, 1968)

Esta técnica relaciona os parâmetros frequência e cobertura dos líquenes com um factor chamado índice ecológico específico.

O Índice Frequência-Cobertura, IFC, vem expresso numa escala de um a cinco, segundo a percentagem de superfície ocupada, s (%), com o que depende dela, $IFC=IFC(s)$:

1. Espécie muito rara com baixo grau de cobertura, $s = 1-10\%$.
2. Espécie pouco frequente com grau de cobertura, $s = 10-25\%$.
3. Espécie com frequência moderada e grau médio de cobertura, $s = 25-50\%$.
4. Espécie frequente com alto grau de cobertura, $s = 50-75\%$.
5. Espécie muito frequente e muito abundante, $s = 75-100\%$.

O IPA vem dado pela fórmula:

$$IPA_j = \frac{1}{10} \sum_j^n (Q_i - f_i)$$

donde,

IPA_j = Índice de Pureza Atmosférica da estação j .

n = número de espécies presentes na estação j .

Q_i = índice ecológico específico da espécie i .

f_i = índice frequência-cobertura da espécie i (escala 1 a 5).

O índice ecológico específico define-se como o número médio de outras espécies de líquenes que crescem juntamente com a espécie que estamos a estudar, e deduz-se mediante o quociente:

$$Q_i = \left(\frac{1}{E_j}\right) \sum_j^n (A_j - 1)$$

donde :

Q_i = índice ecológico específico da espécie i.

A_j = número de espécies presentes em cada estação onde se encontra a espécie i.

E_j = número de estações de amostragem da espécie i.

j = número de estações nas quais se encontra a espécie i.

Crespo *et al.* (1981) realizou uma série de modificações que fazem referência à frequência f.

$$f = (P_{ij} + Am_{ij}) / 2$$

donde :

P_{ij} = presença da espécie i analisada na estação j.

Am_{ij} = média da frequência - cobertura da espécie i na estação j.

A aplicação deste método exige que o único factor ecológico variável entre as distintas estações de amostragem seja a contaminação atmosférica.

3.5. Métodos fitossociológicos

Este método baseia-se no princípio de que a poluição atmosférica vai alterar a estrutura da comunidade, e que se reflecte em mudanças na composição e cobertura da comunidade liquénica. Wirth (1988) reviu as vantagens e desvantagens deste método para monitorizar as mudanças temporais e espaciais da qualidade do ar, e verificou que o método tendia a ser melhor na monitorização temporal que espacial. A extensa revisão resultou numa escala de sensibilidade fitossociológica (1 a 14) para estimativa da poluição do ar (ácida) do sul da Alemanha, se bem que os valores de tolerância para poluentes atmosféricos particulares não tenham sido avaliados (quadro 3-3). Este método não é recomendado para obter concentrações actuais de poluentes mas para funcionar como sistema de alerta na protecção ambiental, e como revelador de mudanças na qualidade do ar ao longo do tempo.

Quadro 3-3: Escala fitossociológica para estimativa da poluição do ar (ácida) do sul da Alemanha. Escala de sensibilidade relativa (revista por Wirth, 1988), 1: baixa resistência, 14: alta resistência.

1	<i>Lobarietum pulmonariae</i> subass of <i>Lobaria amplissima</i>
1	<i>Nephrometum laevigati</i>
2	<i>Gyalectetum ulmi</i>
3	<i>Usneetum florido-neglectae</i>
3-4	<i>Ramalinetum fastigiatae</i>
4	<i>Parmelietum acetabuli</i> e <i>Anaptychia ciliaris</i>
5	<i>Usneetum filipendulae</i>
5-6	<i>Physietum adscendentis</i> e <i>Physconia distorta</i> , <i>Physica stellaris</i> , <i>Ph. aipolia</i>
6	<i>Bacidia rubella</i> - <i>Aleurodiscus</i> -ass.
6	<i>Leprarietum candelaris</i>
7	<i>Pertusarietum hemisphaericae</i>
8	<i>Parmelietum caperatae</i> (<i>Flavoparmelia caperata</i>)
8	<i>Pyrenuletum nitidae</i>
9	<i>Opegraphetum vermicelliferae</i>
9-10	<i>Porinetum aeneae</i>
10	<i>Hypogymnia physodes</i> - <i>Parmelia sulcata</i> -comm
11	<i>Chaenothecetum ferrugineae</i>
12	<i>Bullietum punctatae</i>
13	<i>Lecanoretum conizaeoides</i>
14	<i>Pleurococcetum vulgaris</i>

3.6. Método de resposta directa

O responsável por um estudo de biomonitorização poderá recolher informações suplementares na observação das mudanças de saúde e morfológicas de um líquen. As mudanças fisiológicas poderão ser utilizadas como uma medida quantificável da poluição. Inovações nas técnicas laboratoriais poderão ser uma ajuda no desenvolvimento destes procedimentos.

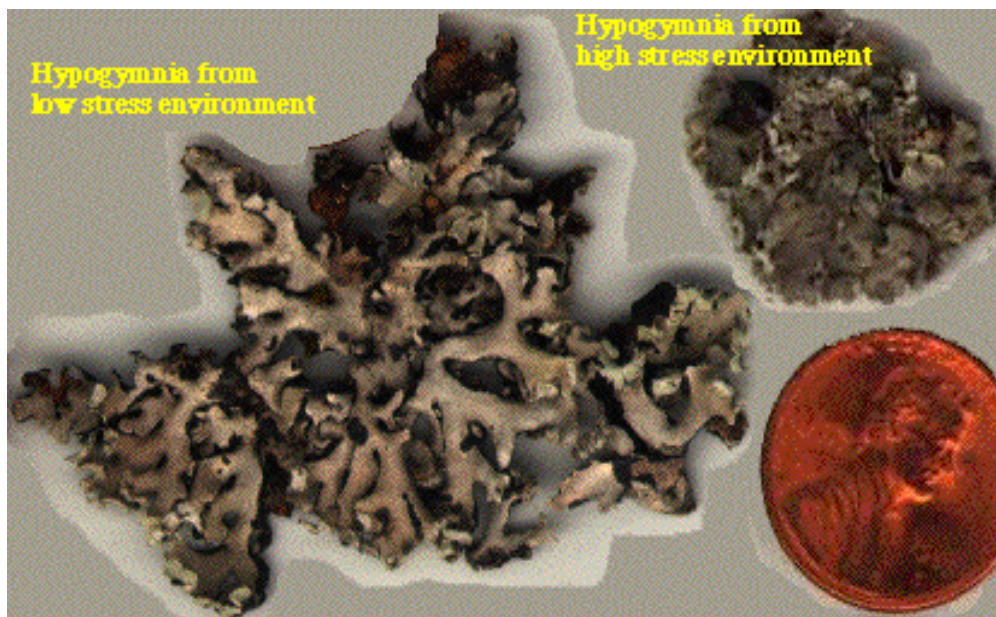
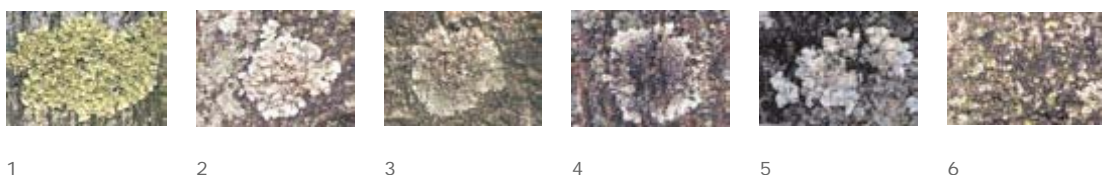


Figura 3-2: Alterações morfológicas causadas por mudanças ambientais na espécie *Hypogymnia*. (Fonte: www.fs.fed.us)

Na sequência de fotos seguintes podem-se apreciar as sucessivas fases que um líquen passa durante uma contaminação.



1. Líquen normal
2. Escurecimento do centro por contaminação
3. Morte do centro do talo
4. Formação de um anel (necrose do centro)
5. Formação de uma meia-lua por morte da maioria do talo
6. Necrose aguda e fragmentação do talo. Estabelece-se um deserto de líquenes

Fotos: Martha Chaparro

3.7. Método por bioacumulação de elementos

Vários estudos demonstraram haver correlação entre os elementos não metálicos contidos nos talos dos líquenes e a deposição atmosférica desses mesmos elementos (Burton, 1986). Por exemplo, as concentrações de enxofre nos tecidos dos líquenes têm sido correlacionadas com a contaminação de SO₂ na atmosfera (Garty *et al*, 1985) (gráfico 3-1). A análise da acumulação dos elementos nos líquenes não vai monitorizar os efeitos actuais da contaminação atmosférica mas poderá indicar as áreas de maior ou menor deposição desses elementos contaminantes. Este método tem a vantagem de indicar áreas de impacte quando ainda não são detectáveis quaisquer outros efeitos.

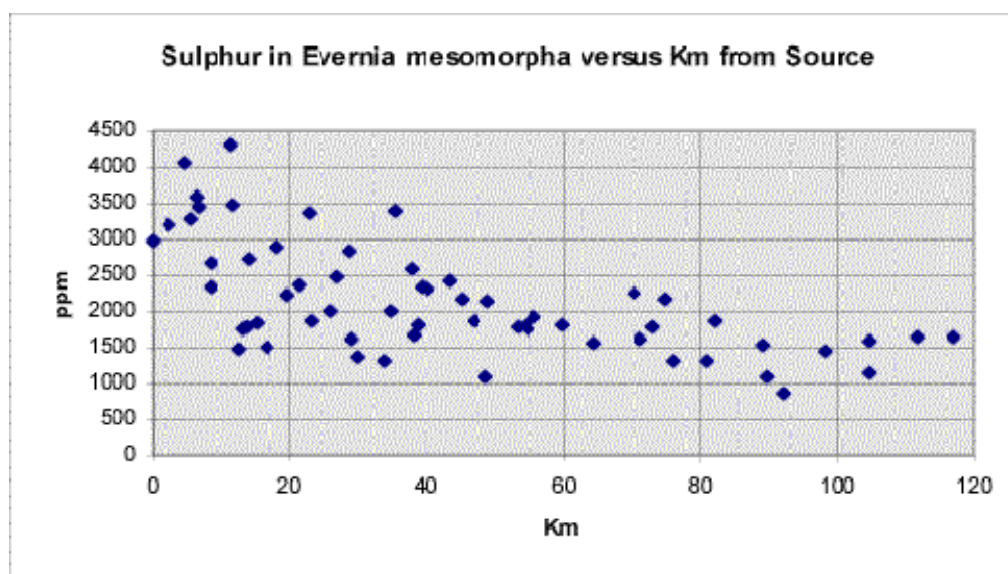


Gráfico 3-1: Este gráfico representa a concentração de enxofre em ppm nos tecidos da espécie *Evernia* versus a distância a que a mesma se encontra da fonte de poluição (Garty *et al*, 1985).

Analisando o gráfico anterior conclui-se que quanto mais perto estiver a espécie liquénica da fonte de poluição, maior é a concentração de enxofre nos seus tecidos.

3.8. Método da biomonitorização activa

A biomonitorização activa compreende a transplantação que é frequentemente usada para demonstrar os efeitos da poluição atmosférica devido a determinados gases. Os líquenes são transplantados de um ambiente não poluído para a zona poluída que é objecto de estudo. O uso deste método requer conhecimentos *a priori* da influência da transplantação na resposta medida posteriormente.

Gombert S. e Asta (1998) determinaram a acumulação de chumbo e cádmio em nove espécies de líquenes expostos a gases provenientes de um incinerador municipal, com uma variação de 4.0 a 66.5 µg/g durante um período de 44 dias, utilizando o método de transplante e absorção atómica, segundo Schonbeck e Hut (1971).

Em Portugal, no ano de 2004 foram apresentados os primeiros resultados de optimização de transplantes de líquenes e tentativa de sua relação com os amostradores de alto volume localizados em Lisboa nas Instalações do Laboratório de Referência do Instituto de Ambiente (IA) em Alfragide. Desta forma, foram recolhidos os líquenes *Usnea* spp. e *Parmelia hypoleucina* na Serra de Grândola e foram transplantados para junto da estação de qualidade do ar em Alfragide, onde ficaram expostos durante 1, 2, 4, 6, 8, 13 e 16 semanas. Durante o mesmo período foram recolhidos diariamente filtros dos amostradores de alto volume para partículas PM10. Foram ainda analisados as concentrações de metais. (Branquinho *et al.*, 2004).

Os talos de *Usnea* spp. foram colocados em sacos de rede de nylon, enquanto que os líquenes da espécie *P. hypoleucina* foram colocados em placas de cortiça e fixados por fio de nylon, respeitando o mais possível a sua posição na natureza (Figs 3-3 e 3-4). Os líquenes foram transportados em sacos de plástico para Lisboa e colocados junto dos equipamentos de

qualidade do ar no Laboratório de Referência do Instituto do Ambiente em Alfragide, e foram transplantados no período de 72 horas. (Branquinho *et al.*, 2004).



Figura 3-3: Fotos de transplantes de líquenes da espécie *Parmelia hypoleucina* Steiner colocada em placas de cortiça afixadas com fio de nylon e expostas à atmosfera urbana nas imediações do Instituto do Ambiente em Alfragide. (Branquinho *et al.*, 2004).



Figura 3-4: Fotos de transplantes de líquenes da espécie *Usnea spp.* colocada em sacos de rede de nylon afixadas com fio de nylon e expostas à atmosfera urbana nas imediações do Instituto do Ambiente em Alfragide. (Branquinho *et al.*, 2004).

Concluiu-se que *Usnea spp* parece ser uma espécie mais adequada a monitorizar a deposição seca e húmida em comparação com *P. hypoleucina* que no entanto mostrou eficiência na intercepção da deposição seca. Os poluentes nos líquenes mostraram ser acumulados ao longo do tempo mostrando os seus efeitos de memória, isto é, são capazes de reflectir fenómenos passados pelo menos até 3 meses. O total dos elementos analisados nos líquenes mostrou seguir um padrão muito semelhante ao das partículas PM10, evidenciando que a maior parte dos poluentes interceptados pelos líquenes corresponde a partículas. (Branquinho *et al.*, 2004).

3.9. Método da abundância de espécies

A relação entre a abundância de líquenes e os padrões de poluição é um procedimento comum e poderá ser utilizado quantificando uma única espécie ou várias espécies. Alguns métodos são mais demorados que outros. Um destes métodos é sugerido por Kovács (1992) que estima a frequência de líquenes através de uma rede plástica com uma área 30 x 130 cm a uma altura aproximadamente de 150 cm do solo. A área é dividida em 40 secções iguais, e a frequência é dada pelo número de espécies observadas nas secções. A estes dados é aplicada uma tabela de valores de correlação com o Índice de Pureza Atmosférica.

3.10. O projecto Sinesbioar

No projecto Sinesbioar a avaliação da biodiversidade de líquenes foi efectuada em 73 locais distribuídos por toda a região de Sines. Em cada um desses locais foi contabilizado o número de espécies que apareciam numa grelha que era colocada em troncos de sobreiros, utilizando uma metodologia estandardizada e que actualmente é aplicada e recomendada em toda a União Europeia. Trata-se de uma metodologia de 2003 desenvolvida por Asta *et al.*.



Figura 3-5: Fotografia do *reticulum* utilizado no projecto.

(foto de <http://www.cedr-a.gov.pt/sinesbioar/>)

Os dados obtidos foram modelados através de técnicas geostatísticas e obteve-se um mapa da distribuição espacial do número de espécies de líquenes, ou seja, um mapa que identifica as áreas mais perturbadas.

Da observação deste mapa conclui-se que as zonas mais perturbadas correspondem à área industrial de Sines e às principais aglomerações urbanas da região - são as áreas representadas a vermelho. Os outros locais apresentam valores elevados de biodiversidade, mostrando que não existem fontes de poluentes importantes na restante área - as áreas a azul correspondem às zonas onde o número de espécies é maior e que correspondem a uma menor perturbação. O estudo da Biodiversidade permitiu determinar quais as zonas potencialmente mais poluídas e deste modo concentrar nesses locais as posteriores recolhas de líquenes para análise de poluentes.

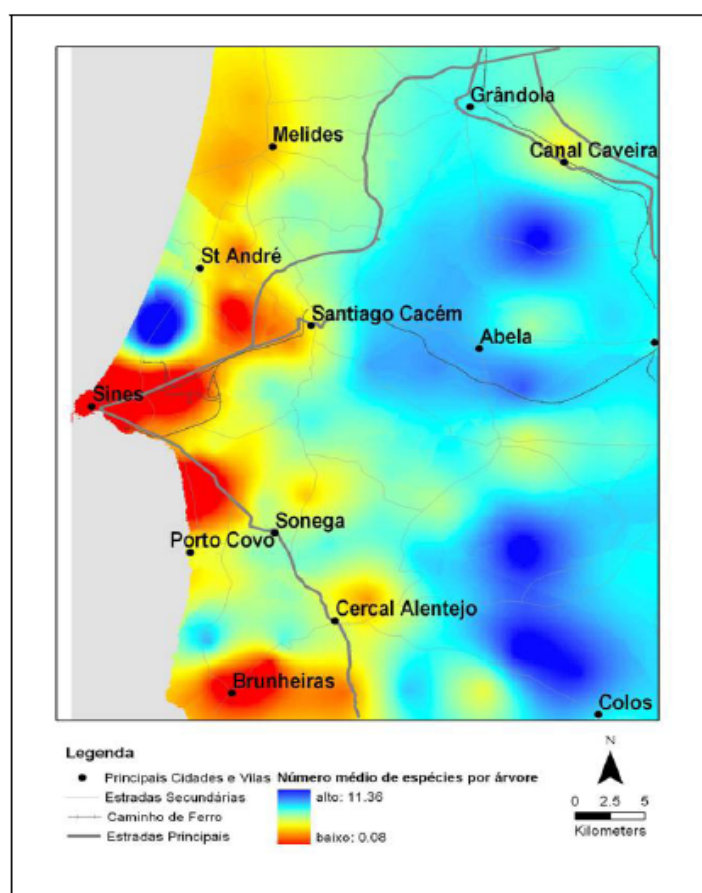


Figura 3-6: Mapa de resultados (<http://www.ccdr-a.gov.pt/sinesbioar/>)

Após a análise da biodiversidade de líquenes, que permitiu identificar as áreas aparentemente mais poluídas, foram recolhidos líquenes em cerca de 130 locais seleccionados tendo por base a análise da biodiversidade feita anteriormente. Em cada amostra recolhida foram analisadas as respectivas concentrações de enxofre, azoto, chumbo, cobre, níquel, alumínio, ferro, titânio, silício, magnésio, manganês, cobalto, mercúrio, cálcio, potássio, cádmio. A dispersão espacial de cada um destes elementos foi caracterizada e analisada individualmente. Após o tratamento estatístico multivariado dos dados (Análise em Componentes Principais) foi possível associar os diferentes elementos químicos, que provavelmente resultarão da mesma fonte de poluição ou terão a mesma proveniência (Augusto *et al.*, 2006).

Os mapas obtidos mostram que ao redor de Sines, incluindo a zona industrial, e expandindo-se para SE no sentido dos ventos dominantes existe uma mancha de poluentes associados a partículas. Esta mancha é evidenciada pela associação dos elementos: ferro, alumínio, cobalto e titânio. Nesta zona surge ainda outro conjunto de elementos normalmente emitidos por instalações industriais evidenciado pela associação: níquel, crómio e enxofre. Nas áreas situadas a Norte, do lado Este, existem alguns focos de mercúrio, chumbo, zinco e cobre. Alguns destes elementos podem ser emitidos pelo tráfego, enquanto que outros podem ter proveniência nas características geológicas da região ou estar relacionados com zonas de exploração mineira (Augusto *et al.*, 2006).

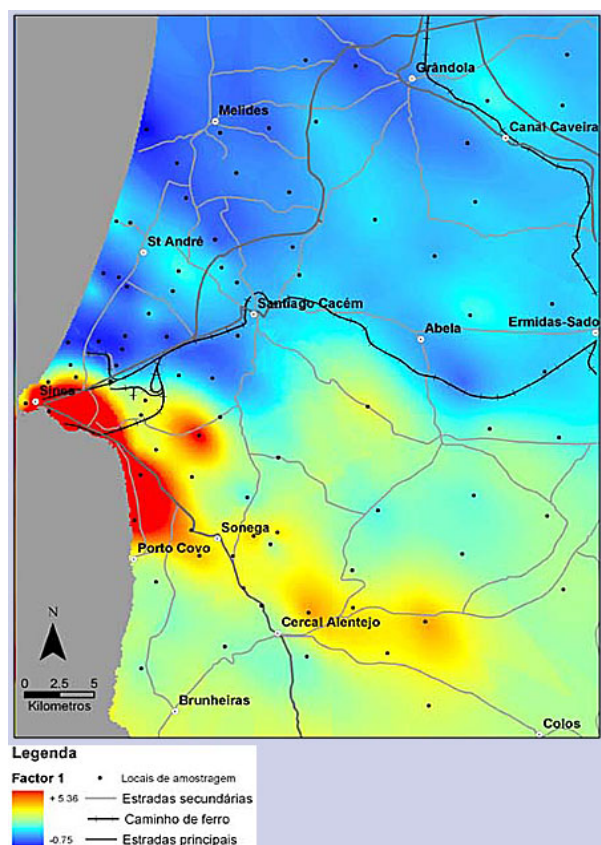


Figura 3-7: Mapa interpolado da associação dos elementos ferro, alumínio, cobalto e titânio. As zonas a vermelho apresentam concentrações mais elevadas destes elementos, enquanto que as zonas a azul apresentam concentrações menores (Augusto *et al.*, 2006).

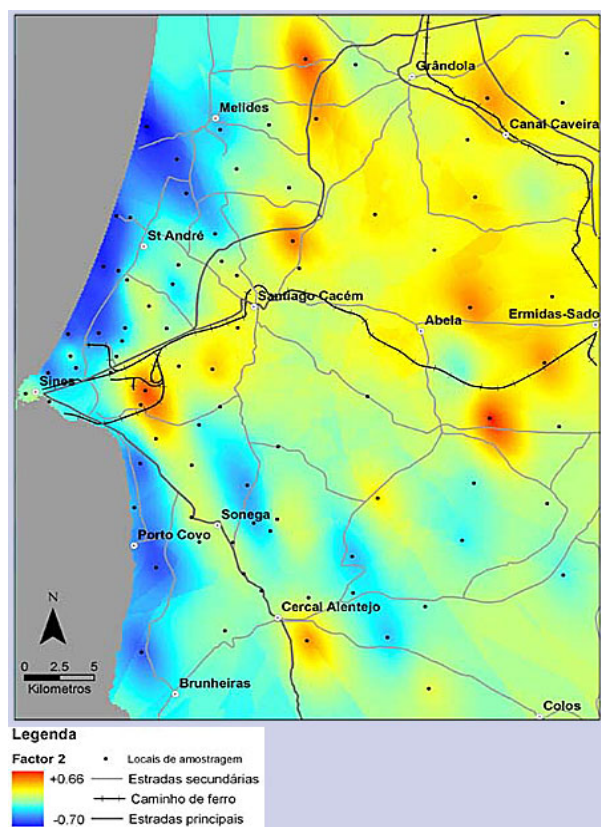


Figura 3-8: Mapa interpolado da associação de elementos mercúrio, chumbo, zinco e cobre. As zonas a vermelho apresentam concentrações mais elevadas destes elementos, enquanto que as zonas a azul apresentam concentrações menores (Augusto *et al.*, 2006).

Com este projecto concluiu-se que (Augusto *et al.*, 2006) a informação obtida com o sistema de biomonitorização permitiu obter um conhecimento com elevada resolução à escala regional sobre a qualidade do ar na região de Sines, nomeadamente:

- A deposição de poluentes numa grande área (30 x 50 Km), de modo a enquadrar o impacte relativo dos vários poluentes e as respectivas áreas de deposição.
- A área de impacte de toda a zona industrial de Sines, em termos de poluição atmosférica crónica, tendo em conta não só as emissões industriais, mas também todos os aspectos associados à existência de indústrias (cidades, tráfego, etc.).
- Contribuiu para enquadrar os fenómenos de poluição natural relativamente à poluição antropogénica.
- A hierarquização dos poluentes ou conjuntos de poluentes mais importantes e suas potenciais fontes.

4. Caso-Estudo: A envolvente da fábrica de celulose do Caima em Constância.

O presente trabalho experimental teve como objectivo principal avaliar a qualidade do ar na envolvente da fábrica de celulose do Caima, através do Método da Abundância de Espécies proposto por Ammann *et al.* (1987) com as modificações introduzidas por Nimis *et al.* (1999). Aos dados é aplicada uma tabela de valores de correlação com o Índice de Pureza Atmosférica.

Aplicou-se ainda outro método que foi desenvolvido pela Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) de Itália em 2001, e que se chama Índice de Biodiversidade Liquéunica (IBL) da ANPA.

A fábrica está localizada em Constância - distrito de Santarém - a cerca de 120 Km a nordeste de Lisboa, imediatamente a sul do Tejo.



Superfície: 80 km²

População: 4.300 hab.

Densidade: 54 hab./km²

Pop. Activa: 1.419 hab.

6,6% sector primário

38,3% sector secundário

55,1% sector terciário

N.º Freguesias: 3

Figura 4-1: Localização e caracterização do Concelho de Constância (fonte: INE).

4.1 – O concelho de Constância

O concelho de Constância com uma superfície de 80 km² repartidos por 3 freguesias – Constância, Montalvo e Santa Margarida da Coutada - encontra-se situado na confluência dos rios Tejo e Zêzere, integrando a Sub-região do Médio Tejo. É limitado a Norte e a Este pelo concelho de Abrantes, a Sul pelo concelho de Abrantes e pelo da Chamusca, e a Oeste por este último e pelo concelho de Vila Nova da Barquinha.

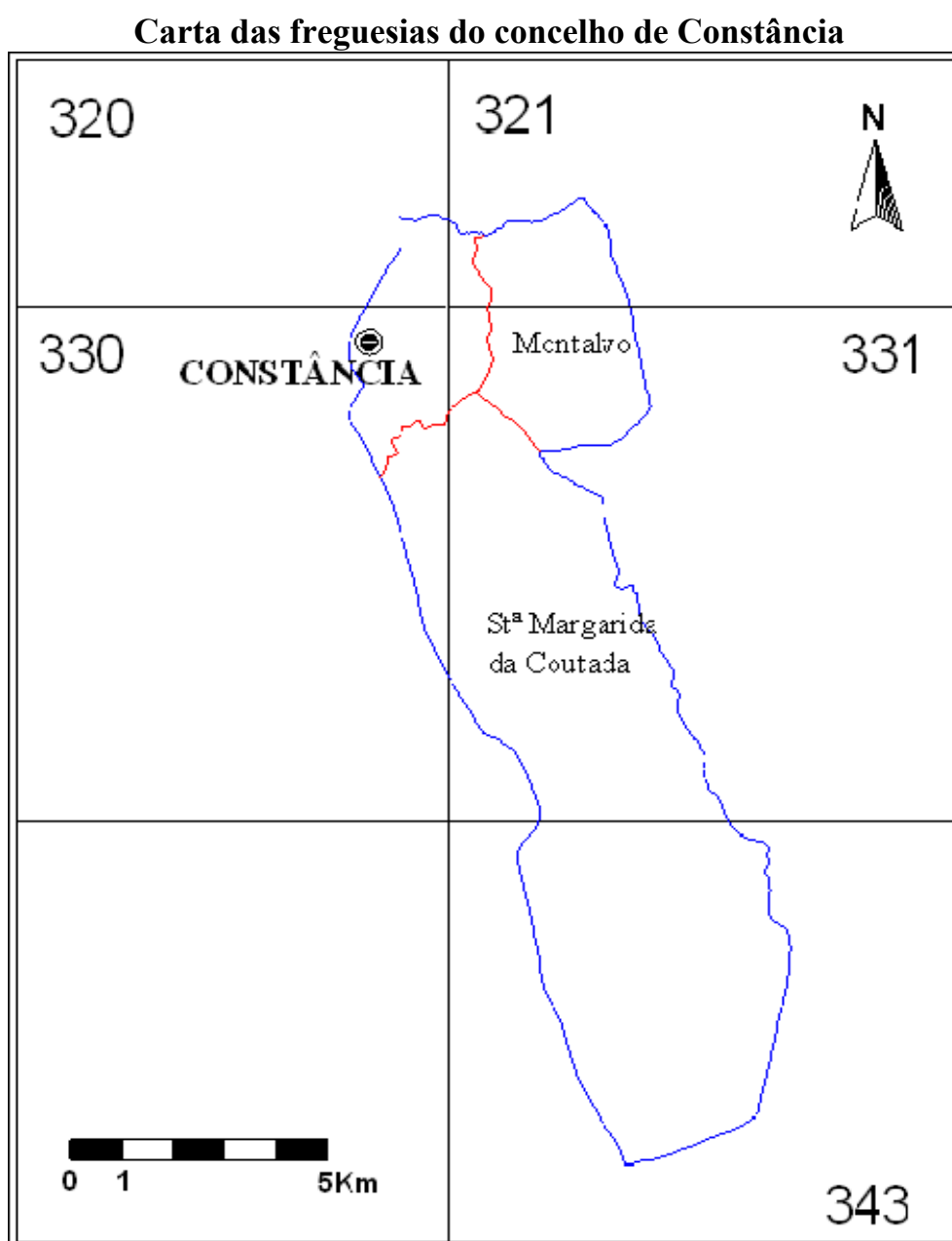


Figura 4-2: Carta das freguesias do concelho de Constância (fonte: SNIG)

Quanto a acessos rodoviários, o concelho de Constância dispõe de boas acessibilidades externas, nomeadamente de quatro ligações principais e mais duas asseguradas pela A23 e pela EN 118. A ligação à A23 permite o acesso à A1 e serve ainda o acesso ao IC3.

No que diz respeito aos acessos ferroviários, penetrando pelas duas freguesias a sul do concelho, existe a linha ferroviária da Beira-Baixa.

O território de Constância é repartido por 61,1% de ocupação agrícola e os restantes 38,9% ocupados por floresta, incultos. Apesar da área ocupada, o sector primário tem um papel pouco significativo em relação ao produto gerado assim como na população activa no mesmo (SNIG, 1996).

Caracterização climática

Em termos climáticos, o concelho de Constância integra-se numa região temperada com características de clima mediterrânico, sofrendo ainda influência dos dois cursos de água principais, o rio Tejo e o rio Zêzere, induzindo alterações ao nível mesoclimático e microclimático, reduzindo as amplitudes térmicas, aumentando ligeiramente a pluviosidade e a acumulação de ar frio durante a noite. Esta situação é acrescida pela predominância de uso florestal (evapotranspiração) (SNIG, 1996).

Temperatura do ar

Deste tipo de clima resulta um Verão quente e seco e um Inverno húmido e suave. A insolação é elevada com a temperatura média do mês mais quente (Agosto) de cerca de 23°C, e uma média anual a alcançar os 15,8°C (SNIG, 1996).

Precipitação

A média pluviométrica anual é da ordem dos 951mm (Outubro a Abril) tendo-se registado no mês de Abril 102,6mm. O valor médio anual da humidade relativa do ar é de cerca de 80%, podendo variar entre os 40% em Agosto e os 92% em Dezembro (SNIG, 1996).

Vento

O vento predomina do quadrante NW, com algum significado para os ventos de Este (SNIG, 1996).

Caracterização fisiográfica

O concelho de Constância está integrado na Bacia Hidrográfica do Tejo que atravessa o território do concelho de Este a Oeste, podendo-se distinguir três zonas de características fisiográficas distintas: a Norte uma geomorfologia mais dinâmica, de vales estreitos e encaixados, sobressaindo o vale do Zêzere, e onde se verificam as maiores cotas altimétricas, atingindo valores superiores a 200 m; a Sul declives menos pronunciados resultando num relevo de características mais planas com cotas máximas de pouco mais de 180 m; no meio destas duas zonas os terrenos aluvionares do vale do Rio Tejo. Na generalidade a orografia do concelho caracteriza-se por um relevo ondulado suave, com zonas mais encaixadas no extremo Norte, em especial o vale do Zêzere (SNIG, 1996).

Carta hipsométrica de Constância

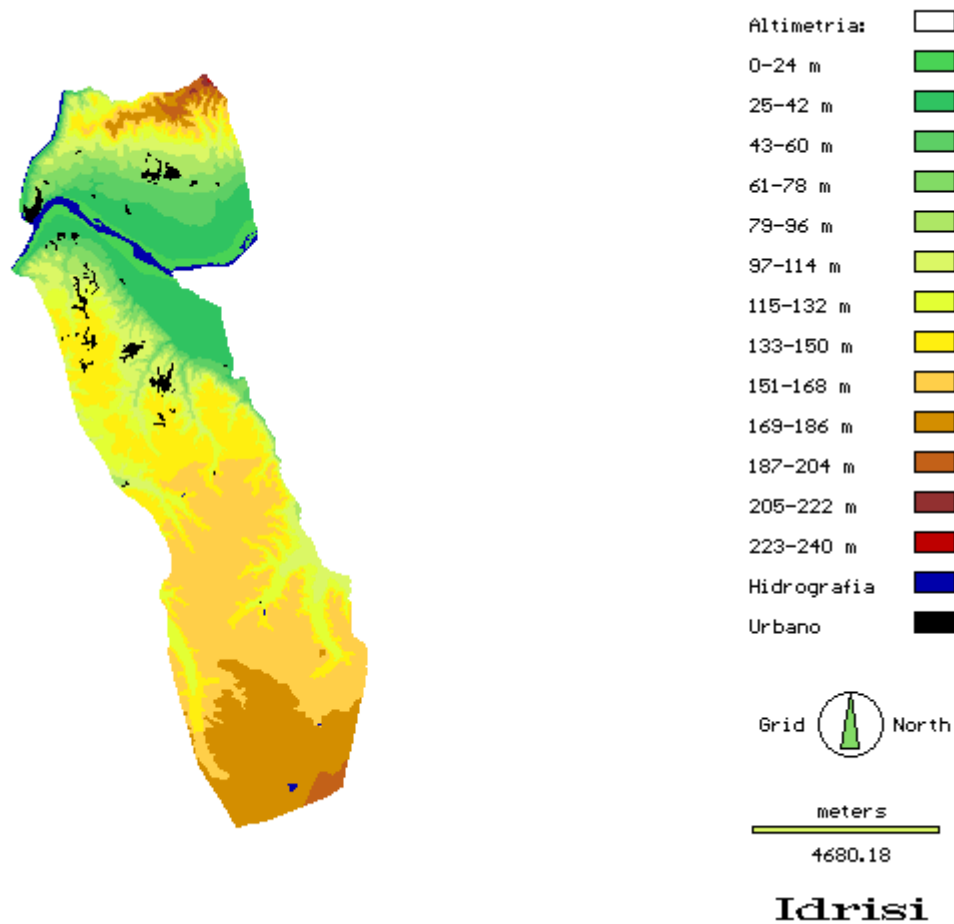


Figura 4-3: Carta Hipsométrica de Constância (fonte: SNIG)

Exposições

Na carta de exposições de Constância distingue-se o lado a Norte do rio Tejo, praticamente totalmente exposto a Sul, com excepção para o vale do Zêzere virado a Oeste e o lado a Sul do Tejo, apresentando características de relevo plano dominante, apesar de ocorrerem linhas de relevo mais acidentado, constituídas pelas pequenas bacias hidrográficas dos afluentes da ribeira da Caniceira, orientadas essencialmente de Norte para Sul, logo expostas a Este e Oeste.

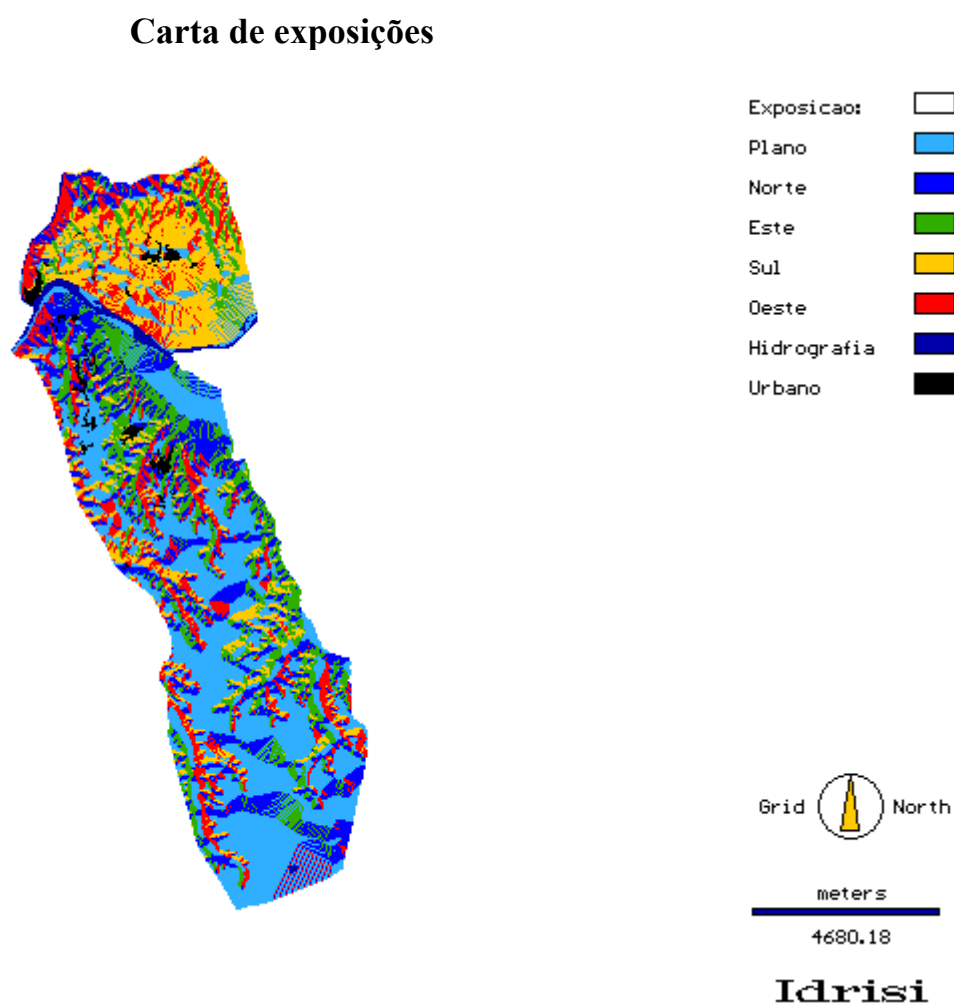


Figura 4-4: Carta de Exposições

A fábrica de celulose do Caima produz por ano 110.000 toneladas de pasta branqueada de eucalipto através do processo de bissulfito de magnésio, cujo mercado principal é a Suécia e a Alemanha.

Na produção de pasta de papel pelo processo de bissulfito há a considerar principalmente as emissões de dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio, mercaptanos e partículas.

As partículas provêm principalmente das instalações de queima, e são removidas por dois métodos:

- precipitadores electrostáticos, com 2 campos em série;
- depuradores de gás por via húmida (wet scrubbers), com 5 etapas de venturis e bolas.

O dióxido de enxofre é removido por uma torre de absorção, que armazena o ácido nos tanques, o qual posteriormente é reutilizado para a digestão ácida de madeiras.

Quanto ao sulfureto de hidrogénio e mercaptanos, que no processo de bissulfito são produzidos em pequenas quantidades, são vulgarmente tratados por incineração.

Em 2001 entrou em funcionamento uma caldeira de biomassa de leito fluidizado cujos gases são tratados no precipitador electrostático.

Já em 2006, e para fazer face à directiva IPPC, todas as emissões difusas passaram a ser recuperadas e tratadas.

4.1. – Metodologia utilizada

A primeira fase do trabalho consistiu na escolha das zonas de amostragem a partir da chaminé da fábrica do Caima. Foram traçados três círculos, definindo-se deste modo três zonas de amostragem:

Zona 1 – até 500 m da chaminé.

Zona 2 – dos 500 m aos 1000 m de distância à chaminé.

Zona 3 - dos 1000 m aos 2000 m de distância à chaminé.

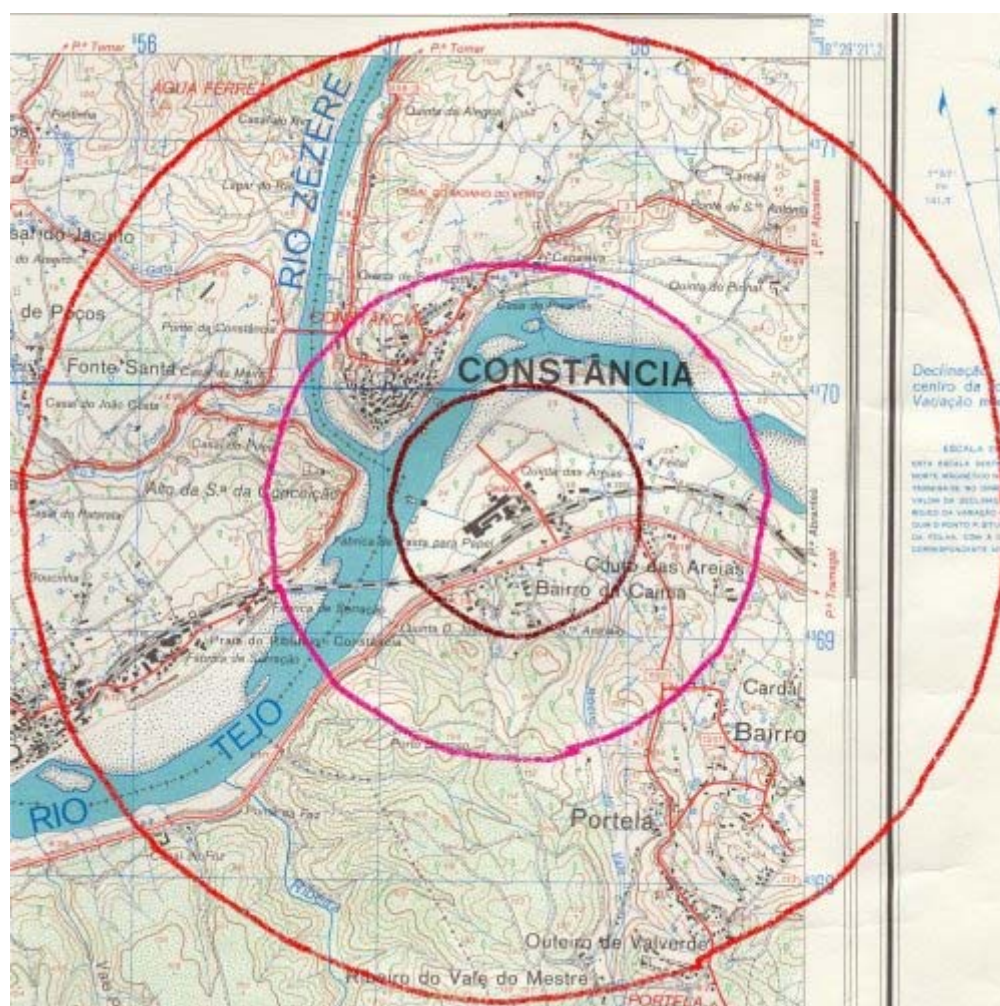


Figura 4-5: Delimitação das 3 zonas de amostragem à escala 1: 25 000

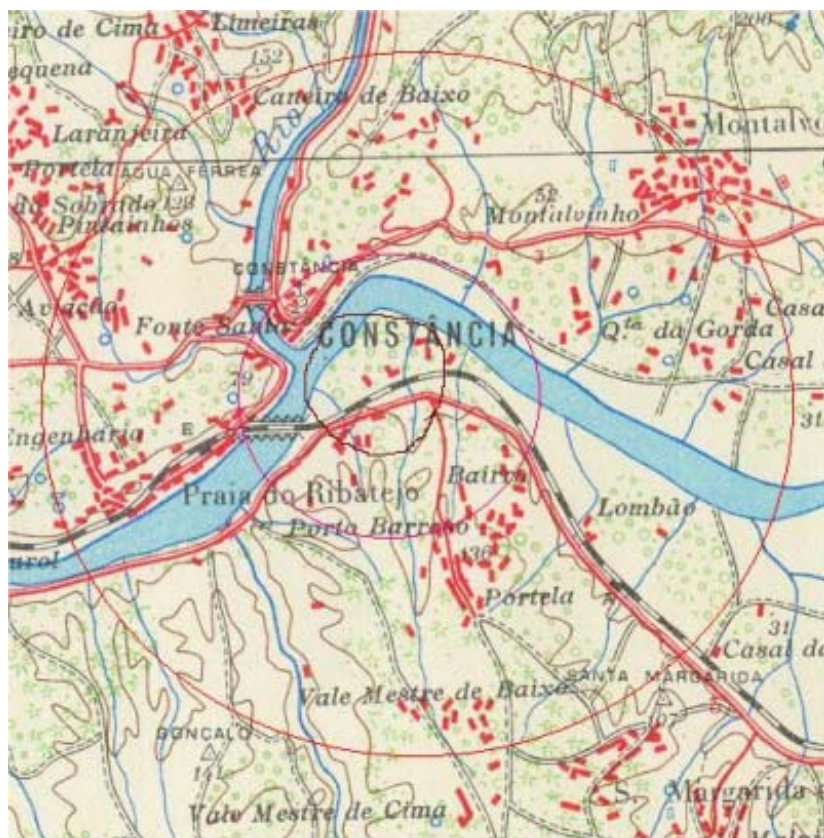


Figura 4-6: Delimitação das 3 zonas de amostragem à escala 1: 50 000

Tendo em conta o raio de amostragem de cada uma das zonas, bem como o tipo de forófitos existentes, acessibilidade aos forófitos, e a dominância da direcção dos ventos, foi definido o número de estações de amostragem em cada uma das três zonas. Assim, para a zona 1 definiram-se cinco estações de amostragem, e para as zonas 2 e 3, seis estações de amostragem em cada uma dessas zonas.

A segunda fase do trabalho consistiu no inventário líquénico utilizando o método de abundância de espécies descrita por Nimis (1999) e o método do índice de biodiversidade líquénica proposto pela ANPA (2001).

Seleccionaram-se, sempre que possível, 5 árvores da mesma espécie (forófito) em cada uma das estações de amostragem. Quando isso não foi possível, seleccionaram-se pelo menos 3 árvores da mesma espécie. Procurou-se que todas as árvores cumprissem os seguintes requisitos: estivessem o mais próximo possível umas das outras, tivessem tronco com mais de 70 cm de diâmetro, tronco com inclinação inferior a 20° com respeito à vertical, fora de formações arbóreas excessivamente densas, e que fossem sãs e sem rebentos na base ou no tronco. Nestas árvores realizaram-se dois tipos de inventários, um qualitativo e outro quantitativo:

- *Aproximação qualitativa (presença de espécies).* Elaborou-se uma lista de todas as espécies de líquenes presentes em cada uma das árvores escolhidas.
- *Aproximação quantitativa (frequência de espécies).*

▪ ***1º método – Abundância de Espécies***

Para realizar os inventários utilizou-se uma rede de plástico de 30cm x 50cm, subdividida em 10 quadrantes de 15cm x 10cm. Esta rede, a que se chama *reticulum* foi posicionada a uma altura de cerca de 100cm -120cm do solo, na parte do tronco que apresentou maior cobertura líquénica. A cada uma das espécies presentes na área coberta pelo *reticulum* assinalou-se o valor de frequência de 1 a 10, em função do número de quadrantes em que estavam presentes.

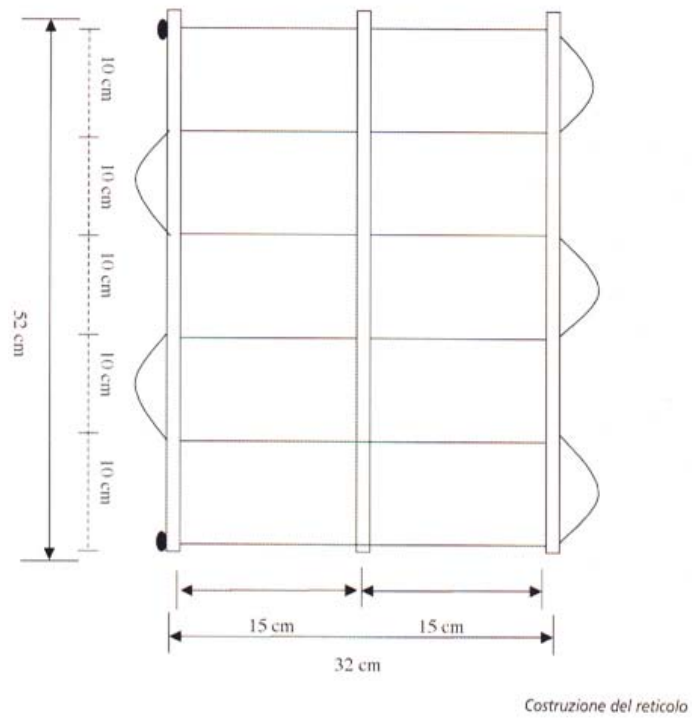


Figura 4-7: Exemplo para construção do *reticulum*.

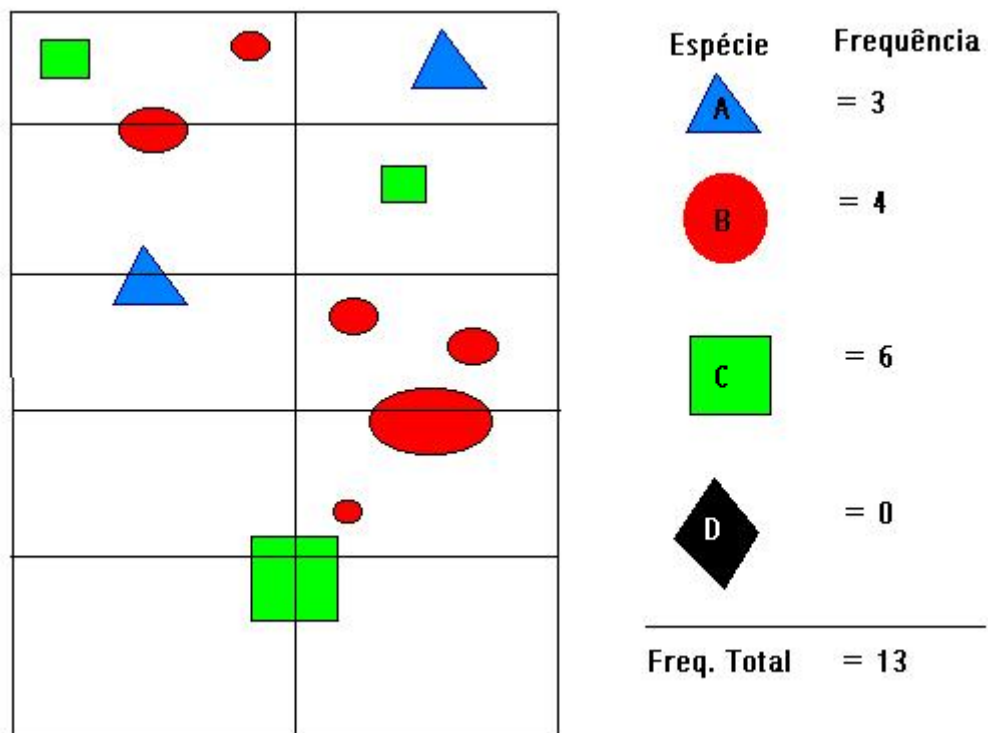











Figura 4-8: Exemplo de cálculo da frequência total de espécies.

Finalmente calculou-se o IPA (Índice de Pureza Atmosférica) para cada inventário somando as frequências de todas as espécies presentes, e aplicando uma tabela de valores de correlação. O valor do IPA, indica indirectamente a cobertura líquénica na área do inventário e, directamente a diversidade das espécies. Como valor de IPA de cada estação de amostragem considerou-se a média aritmética dos inventários tomados em cada uma das estações de amostragem (Anexo I).

A qualidade do ar foi então classificada segundo o seguinte quadro:

Quadro 4-1: Modelo de classificação da qualidade do ar pelo método IPA.

IPA	Contaminação do ar	Qualidade do ar	Cor Gráfica
$IPA < 1$	Extremamente alta	Péssima	Vermelho 
$1 \leq IPA < 4$	Muito alta	Muito má	Laranja 
$4 \leq IPA < 8$	Alta	Má	Rosa 
$8 \leq IPA < 13$	Média-alta	Mediocre	Amarelo 
$13 \leq IPA < 19$	Média	Baixa	Verde-claro 
$19 \leq IPA < 26$	Média-moderada	Média	Verde-escuro 
$26 \leq IPA < 34$	Moderada	Discreta	Azul-escuro 
$34 \leq IPA < 43$	Baixa	Boa	Azul-claro 
$IPA \geq 43$	Muito baixa	Muito boa	Turquesa claro 

▪ **2º método – Índice de Biodiversidade Liquéfica**

Esta metodologia é baseada num guia elaborado na Alemanha (VDI Guideline,; VDI, 1995) e noutro elaborado em Itália (Nimis, 1999), a qual integrou uma importante modificação proposta por peritos de seis países presentes numa conferência europeia organizada pela Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente de Itália (ANPA) em Novembro de 2000. Nesta metodologia deve, se possível, escolher-se árvores da segunda coluna - com pH ácido - da tabela que se segue.

Quadro 4-2: Categoria de árvores por pH.

(Com pH alcalino)	(Com pH ácido)
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Prunus domestica</i>
<i>Acer platanoides</i>	<i>Olea europaea</i>
<i>Ceratonia siliqua</i>	<i>Quercus petraea</i>
<i>Ficus spp.</i>	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Juglans spp.</i>	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Populus x canadensis</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Sambucus nigra</i>	<i>Betula pendula</i>
<i>Ulmus spp.</i>	<i>Prunus avium</i>
	<i>Tilia spp.</i>

O *reticulum* é constituído por quatro segmentos de rede cada um dos quais formado por 5 quadrantes de 10cm x 10cm, que devem estar dispostos verticalmente sobre o tronco da árvore. A parte inferior do quinto quadrante deverá estar colocada a 1 metro da base do tronco. Os quatro segmentos de rede deverão estar posicionados em referência com os quatro pontos cardeais. Se existir algum defeito no tronco de árvore, ou qualquer outro impedimento, deverá haver uma rotação no sentido horário mas num máximo de 20 graus.

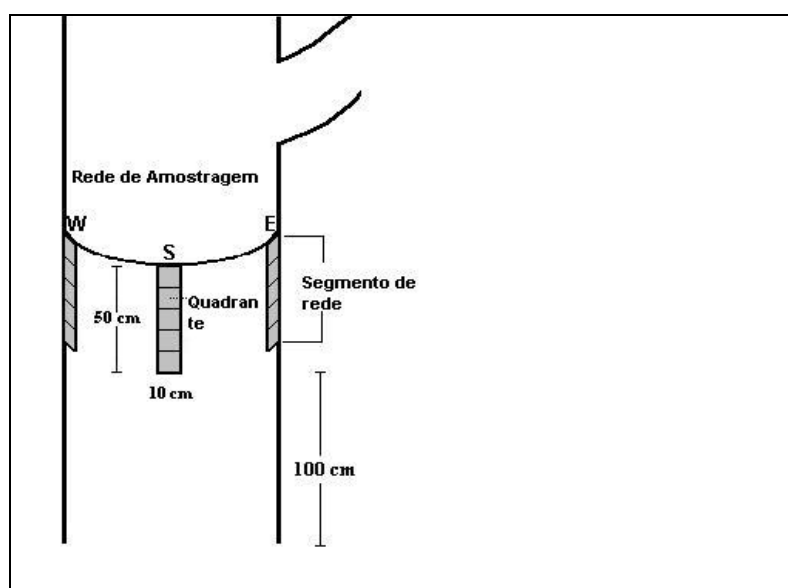


Figura 4-9: Exemplo de colocação do *reticulum* pelo método ANPA (2001).

A cada uma das espécies presentes na área coberta pelo *reticulum* assinalou-se o valor de frequência de 1 a 5, em função do número de quadrantes em que estavam presentes.

Calculou-se o IBL (Índice de Biodiversidade Liquéenico) através da seguinte fórmula:

$$IBL_{\text{forófito}} = \Sigma(\Sigma f_{i\text{Norte}} + \Sigma f_{i\text{Este}} + \Sigma f_{i\text{Sul}} + \Sigma f_{i\text{Oeste}})$$

Em que: f_i = frequência da espécie i

O valor do IBL da estação de amostragem resulta da média aritmética do IBL de cada um dos forófitos pertencentes a essa estação de amostragem (Anexo II). A estes valores aplica-se uma tabela de valores de correlação para esta metodologia.

Quadro 4-3: Escala de naturalidade/alteração adoptada para interpretar o IBL na região bioclimática su-mediterrânea seca.

% de desvio da condição natural	Valor do IBL	Classe de naturalidade/alteração
100	0	Deserto líquénico
76-100	1-40	Alteração
51-75	41-75	Semi-alteração
26-50	76-115	Semi-naturalidade
25	115	Naturalidade

O quadro seguinte faz o resumo das vantagens e desvantagens encontradas na utilização dos dois *reticulum* usados, o de Nimis (1999) e o usado pela ANPA (2001).

Quadro 4-4: *Reticulum* (Nimis, 1999) vs. *Reticulum* (ANPA, 2001)

	<i>Reticulum</i> (Nimis, 1999)	<i>Reticulum</i> (ANPA, 2001)
Dimensões	30x50 cm, divididos em 10 rectângulos de 15x10 cm.	4 segmentos de rede de 10x50 cm, cada um dividido em 5 quadrados de 10x10 cm.
Posicionamento	Posiciona-se sobre a parte do tronco com a maior diversidade/cobertura líquénica.	Os quatro segmentos da rede são posicionados sobre o tronco em correspondência com os quatro pontos cardeais.
Altura desde o solo	1 – 1,2 m	1 m
Características	Subjectividade na individualização da máxima cobertura líquénica sobre o tronco.	Objectividade no posicionamento dos segmentos de rede, confrontabilidade e repetibilidade dos dados.

4.2 - Resultado da Biomonitorização

Nos mapas e quadro seguintes está reproduzida a qualidade do ar em cada uma das estações de amostragem com a cor respectiva da “classe” de pureza de ar. Devido ao facto de não se ter conseguido ter toda a zona de amostragem numa só carta à escala 1/25 000, apresentar-se-ão também os resultados numa carta à escala 1/50 000. Os resultados pormenorizados, por estação de amostragem, encontram-se no anexo I e anexo II.

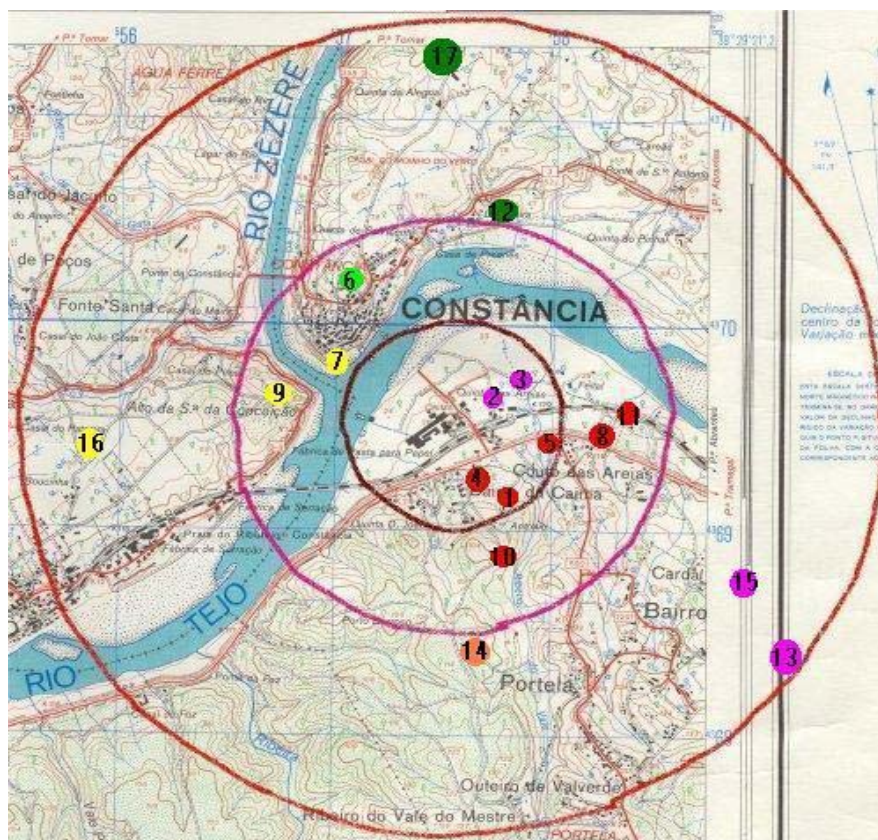


Figura 4-10: Mapa de resultados da biomonitorização em 2003 (escala 1/25 000) pela metodologia de Nimis (1999).

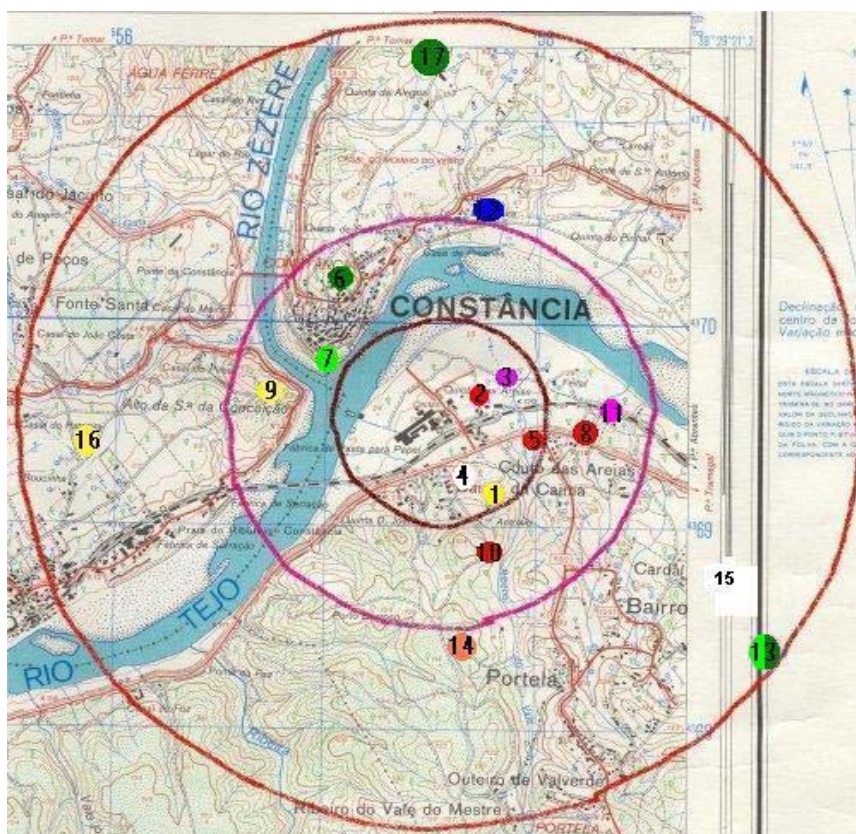


Figura 4-11: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/25 000) pela metodologia de Nimis (1999).

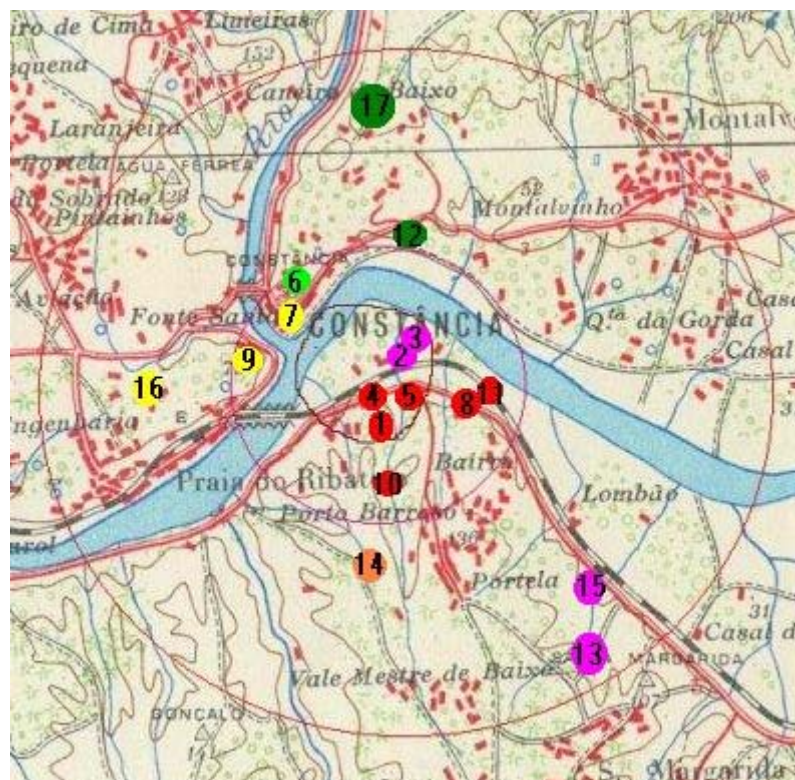


Figura 4-12: Mapa de resultados da biomonitorização em 2003 (escala 1/50 000) pela metodologia de Nimis (1999).

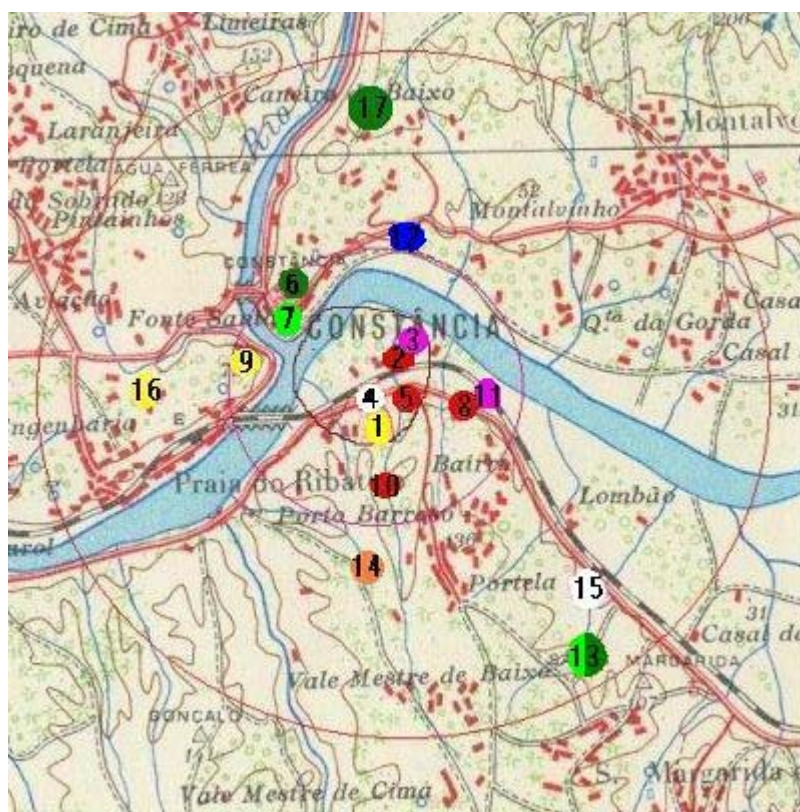


Figura 4-13: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/50 000) pela metodologia de Nimis (1999).

Quadro 4-5: Quadro-resumo dos resultados de 2003 e 2007 da biomonitorização na envolvente da fábrica de celulose do Caima – Constância pela metodologia de Nimis (1999)..

Estação de amostragem	Espécie arbórea	Nº de árvores	IPA (2003/2007)	Cor gráfica	Qualidade do ar
1. Rua de Santo António (Constância Sul)	Sobreiro	5	0.8/9.6	Vermelho Amarelo	Péssima Medíocre
2. Parque de madeiras da Caima (Constância Sul)	Oliveira	5	4.4/0	Rosa Vermelho	Má Péssima
3. Quinta das Areias (Constância Sul)	Cipreste-comum	5	7.6/6	Rosa	Má
4. Bairro da Caima (Constância Sul)	Sobreiro	3	0/?	Vermelho ?	Péssima ?
5. Escola Primária (Constância Sul)	Sobreiro	4	0/0	Vermelho	Péssima
6. Largo da igreja da Misericórdia (Constância)	Lodoeiro	4	15.25/22	Verde-claro verde-escuro	Baixa Média
7. Antiga Torre de Menagem (Constância)	Freixo-europeu	4	7/17.25	Rosa verde-claro	Má Baixa
8. Estrada Nacional 118 (Constância Sul)	Sobreiro	5	0/0	Vermelho	Péssima

Estação de amostragem	Espécie arbórea	Número de árvores	IPA (2003/2007)	Cor gráfica	Qualidade do ar
9. Cemitério (Praia do Ribatejo)	Cipreste-comum	5	10/8	Amarelo	Medíocre
10. Cota 80 m Sul (Constância Sul)	Sobreiro	5	0/0	Vermelho	Péssima
11. Feital – junto à linha CP (Constância-Sul)	Sobreiro	5	0/6	Vermelho Rosa	Péssima Má
12. Quinta da Capareira (Constância)	Sobreiro	5	20.8/29	Verde-escuro Azul-escuro	Média Discreta
13. Parque Ambiental (Santa Margarida)	Sobreiro	5	9.25/19.67	Amarelo Verdes	Medíocre Média/Discreta
14. Cota 112 m Sul (Constância Sul)	Sobreiro	5	1.4/1.4	Laranja	Muito má
15. Cardal	Sobreiro	5	6/?	Rosa ?	Má ?
16. Casal do Patarata (Praia do Ribatejo)	Oliveira	5	11.8/10	Amarelo	Baixa
17. Quinta da Alegria (Constância)	Oliveira	5	19/20.25	Verde-escuro	Média

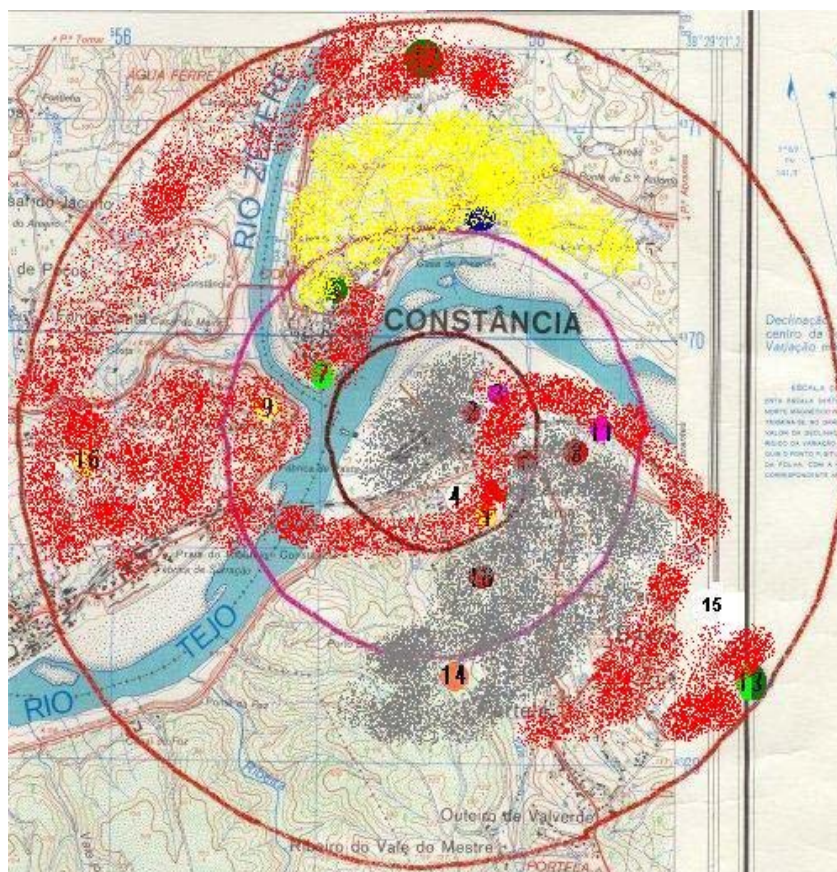


Figura 4-14: Mapa de resultados da biomonitorização em 2007 (escala 1/25 000) pela metodologia da ANPA (2001).

4.3 - Avaliação dos resultados

Na avaliação dos resultados tem que se ter em conta com a frequência de ventos na região a fim de se considerar o papel da dispersão de poluentes. A estação meteorológica mais perto da fábrica, é a estação meteorológica Tancos/Base Aérea, que dista desta cerca de 4 km para Noroeste. Segundo dados do Instituto de Meteorologia a frequência do rumo ou seja, para onde sopram os ventos, é a seguinte:

Quadro 4-6: Coordenadas geográficas de destino da frequência (%) do rumo dos ventos da estação meteorológica de Tancos/Base Aérea.

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
9.2%	12.1%	12.3%	22.8%	14.4%	8.4%	14.6%	8.6%

Representando graficamente estes dados, tem-se:

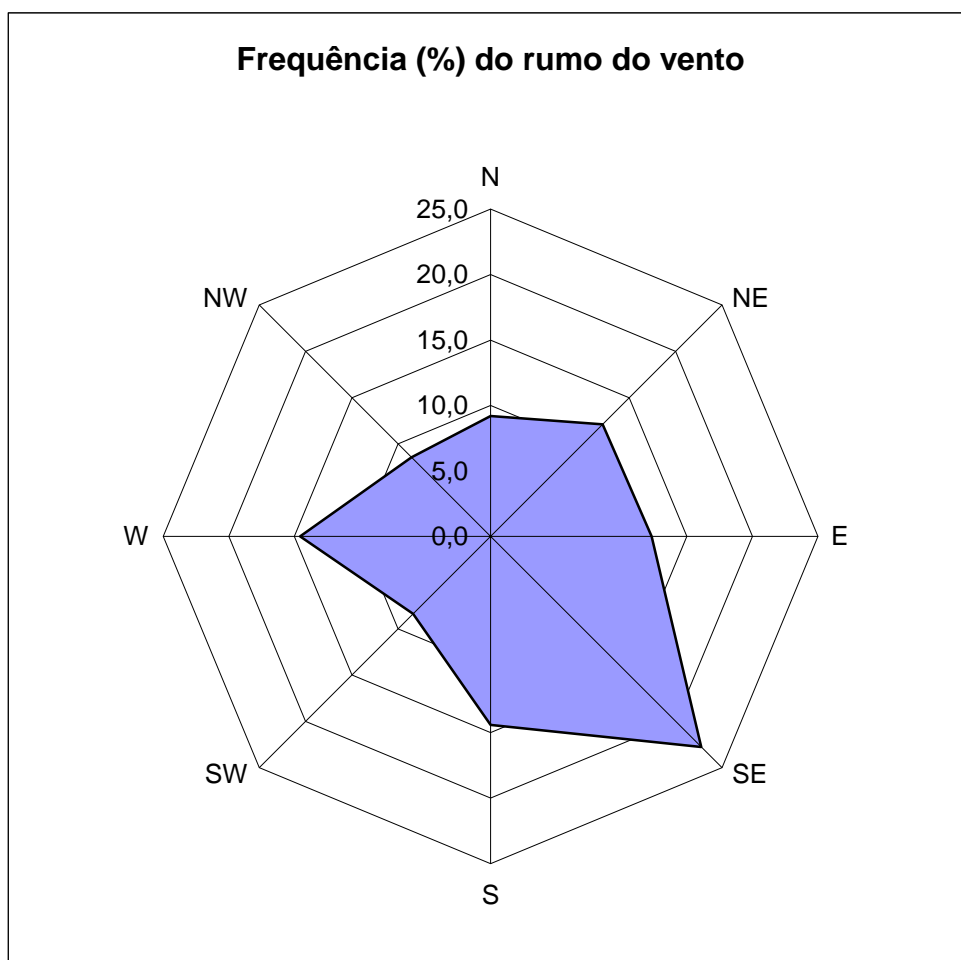


Figura 4-15: Coordenadas geográficas de destino da frequência (%) do rumo dos ventos da estação meteorológica de Tancos/Base Aérea.

Sobrepondo o gráfico dos dados aos mapas anteriormente apresentados:

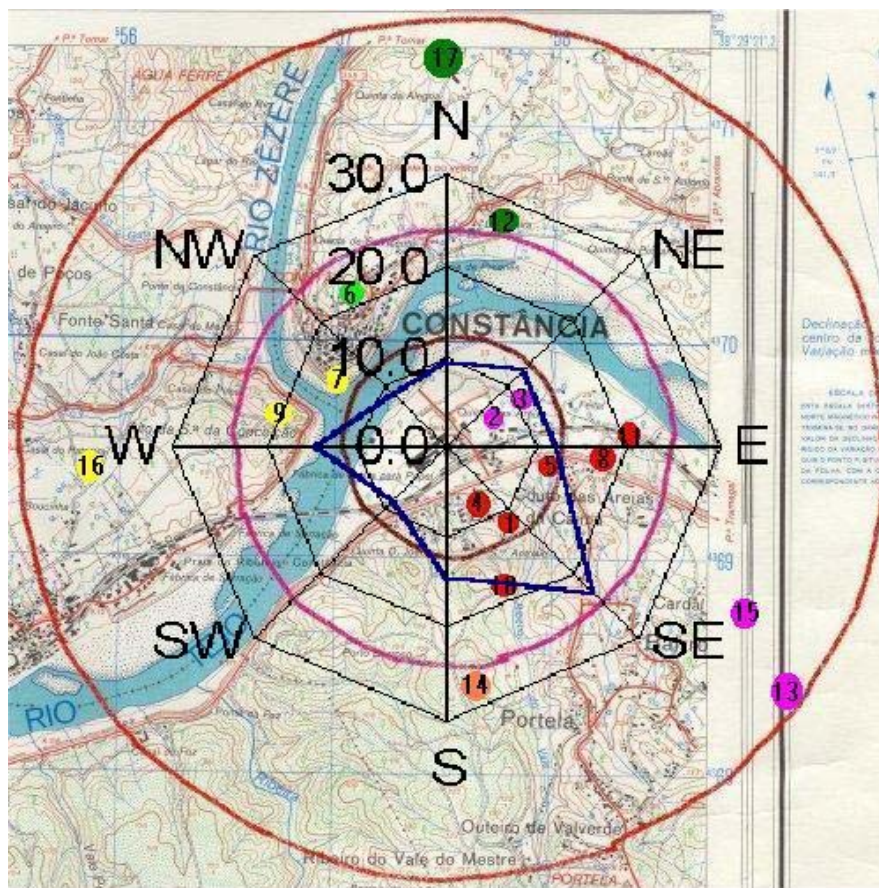


Figura 4-16: Mapa de resultados da biomonitorização 2003 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/25 000).

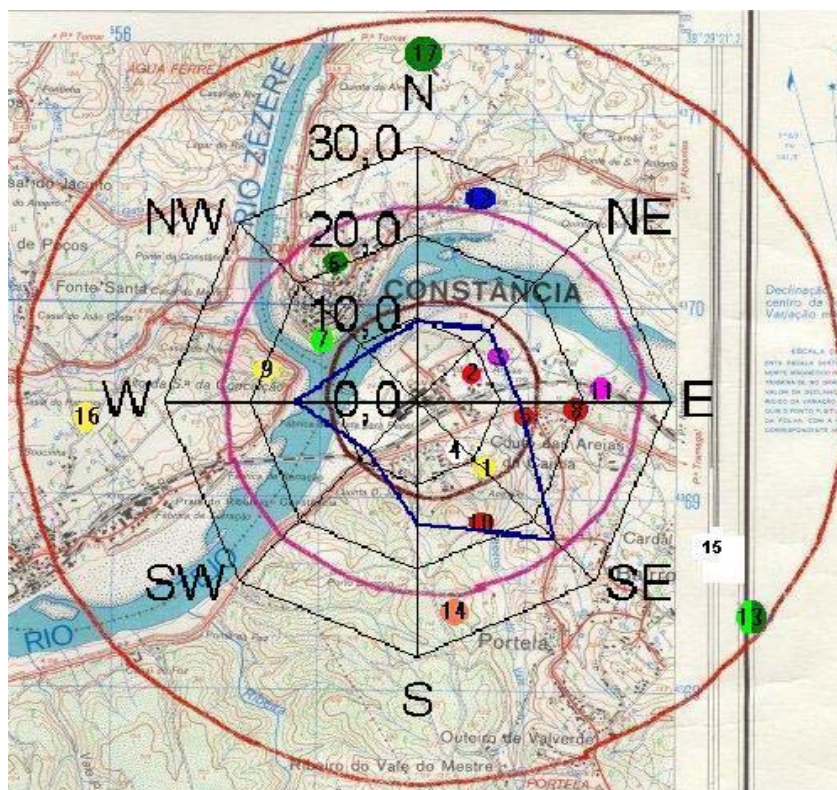


Figura 4-17: Mapa de resultados da biomonitorização 2007 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/25 000).

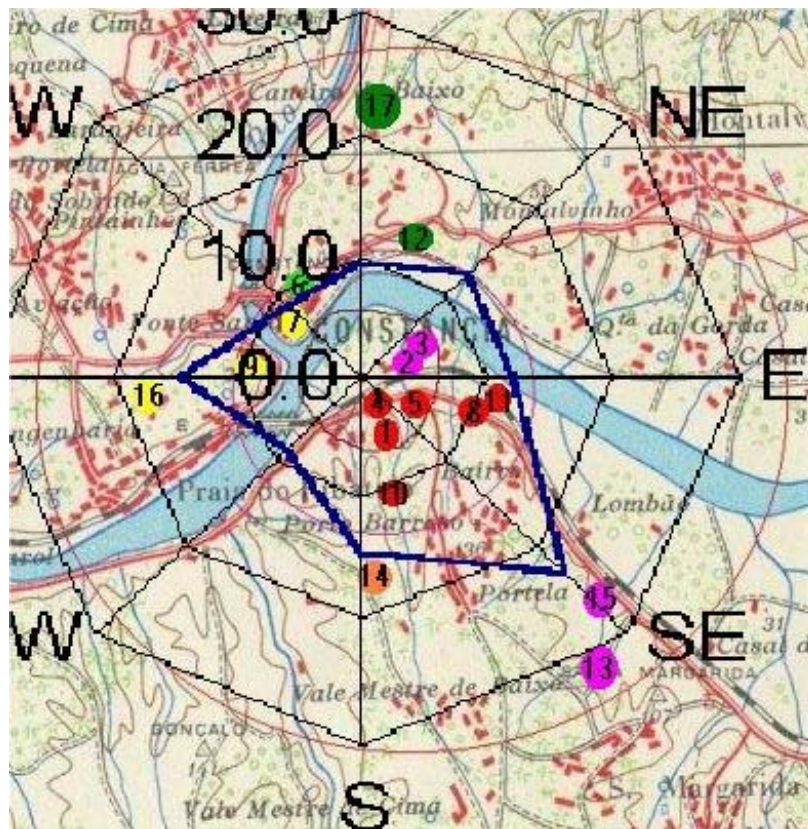


Figura 4-18: Mapa de resultados da biomonitorização 2003 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/50 000).

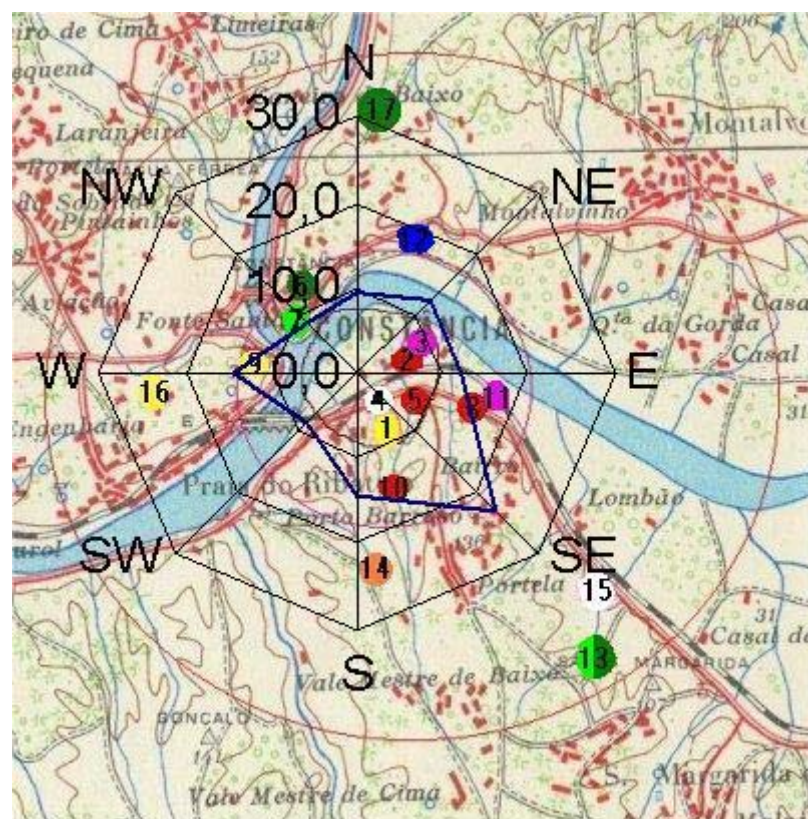


Figura 4-19: Mapa de resultados da biomonitorização 2007 vs. destino da frequência (%) do rumo dos ventos (escala 1/50 000).

Na apreciação geral da qualidade do ar da área em estudo, esta foi classificada, segundo a metodologia de Nimis (1999), como sendo má/mediocre tendo em conta a ponderação dos valores utilizada (Anexo III); Se compararmos com os valores de ponderação para o ano de amostragem de 2003 nota-se que houve uma melhoria em cerca de um valor, tendo passado a classificação geral da qualidade do ar de muito má/má em 2003 para má/mediocre em 2007. Os valores registados do IPA variaram desde zero “deserto liquénico” em quatro estações de amostragem localizadas imediatamente a sueste da chaminé da fábrica - nas zonas de amostragem 1 e 2 - até um valor máximo de IPA de 29, em pleno campo, à distância de 1050m para norte da chaminé da fábrica. Note-se que a estação de amostragem número 17 é a que dista mais para norte da fábrica e por isso deveria ser a que apresentaria maior IPA, no entanto, esta estação dista apenas 100m da principal via de comunicação do concelho que é a A23, e que em 2005 foi fortemente “castigada” por obras de melhoria nas estradas circundantes, para além de se ter começado a construir urbanizações junto à mesma. Aliás, quer a estação de amostragem 8 quer a 11 se encontram ao lado de vias de comunicação. A estação 8 fica ao lado da EN118, que é a principal via de comunicação a sul do concelho, e a estação 11 fica ao lado da linha de caminhos-de-ferro que faz a ligação à Beira Baixa e ao Alto Alentejo. Nestas estações de amostragem teremos portanto que contar com o efeito sinérgico dos poluentes da chaminé da fábrica e dos poluentes do trânsito rodoviário e ferroviário. Ainda assim, na estação 11 observou-se uma melhoria da qualidade do ar tendo em conta o valor obtido em 2003.

Comparando os anos 2003 e 2007, pode observar-se uma melhoria em termos da qualidade do ar. Senão vejamos, em 2003 tínhamos seis estações de amostragem com valores de IPA inferiores a um, em 2007 temos só quatro, embora fosse esperado que a estação de amostragem 4 tivesse valor zero tendo em conta a sua localização, só que nesta estação foi impossível fazer a amostragem em 2007 devido à inacessibilidade aos forófitos.

A estação de amostragem 2 piorou em relação a 2003, mas isto ficou a dever-se ao alargamento que se está a fazer no parque de madeiras da Caima e que teve como consequência um aumento de tráfego de pesados e maquinaria.

No total destes quatro anos de amostragens houve uma melhoria em seis estações e apenas uma estação piorou – estação 2. Tudo indica que as melhorias efectuadas no tratamento das emissões difusas, que foram feitas na Caima em 2006 para fazer cumprimento da Directiva IPPC, têm estado a resultar. Espera-se repetir estas amostragens em 2011 para se verificar do evoluir desta situação.

A observação dos dados indica que à medida que nos afastamos da chaminé da fábrica a qualidade do ar vai aumentando. Observa-se também que nas estações de amostragem que se encontram no lado onde habitualmente sopra o vento, a qualidade do ar é pior do que nas estações de amostragem que apesar de também estarem à mesma distância da chaminé da fábrica, não recebem os ventos com tanta frequência, como é o caso das estações de amostragem 12 e 14.

Observa-se também que não só a frequência de líquenes diminui com a contaminação do ar mas também diminui a biodiversidade dos líquenes. Quer isto dizer que existem espécies de líquenes mais sensíveis que outras, e que por isso pode utilizar-se apenas a espécie mais sensível para monitorizar a qualidade do ar, tal como previsto em alguns métodos atrás descritos.

Analisando-se detalhadamente os dados da tabela que se encontra no anexo V, e que engloba os valores das metodologias por estação de amostragem, pode verificar-se exactamente isto, que existe de facto uma concordância entre a direcção dos ventos, distância a que a estação de

amostragem se encontra da chaminé da fábrica do Caima e a quantidade de líquenes amostrada. Ou seja, quanto mais distante se estiver da chaminé da fábrica maior é a quantidade de líquenes amostrada. Da mesma forma, verifica-se também o facto de que o quadrante geográfico onde o forófito recebe os ventos vindos da chaminé da fábrica é o quadrante onde habitualmente se registam menores quantidades de líquenes.

Curioso também é o facto de existir na zona de amostragem 2, uma estação (estação de amostragem 7) onde existem mais espécies notificadas pelo método Nimis (1999) do que pelo método IBL (ANPA, 2001), já que nesta foram identificadas seis espécies para o primeiro método e quatro espécies para o segundo método. De forma inversa, também na zona de amostragem 3, existe uma estação (estação de amostragem 13) onde existem mais espécies notificadas pelo método IBL (ANPA, 2001) do que pelo método Nimis (1999), já que o de IBL identifica quatro espécies e o de Nimis apenas duas. Nota-se então aqui a funcionar a subjectividade do método de Nimis e do operador do *reticulum* na altura de escolher qual a zona do forófito que está mais coberta de líquenes.

Neste estudo foram observadas nove géneros de líquenes, conforme o seguinte quadro:

Quadro 4-7: Géneros observados na biomonitorização da qualidade do ar da envolvente da fábrica de celulose do Caima - Constância.

<i>Lepraria Ach.</i>	<i>Ramalina Ach.</i>
<i>Parmelia Ach.</i>	<i>Usnea Hill</i>
<i>Evernia Ach.</i>	<i>Xanthoria Fr.</i>
<i>Lecanora Ach.</i>	<i>Buellia De Not.</i>
<i>Pertusaria Dc.</i>	

Para a identificação das espécies de líquenes recorreu-se a chaves dicotómicas bem como a observações a lupa de marca Achromatic com ampliação 20X.

Observou-se então que na zona alaranjada, onde o valor do IPA é menor que 4, só foi encontrado *Pleurococcus viridis*.

Na zona rosa (IPA inferior a 8) ao género anteriormente descrito, encontrou-se também *Lecanora sp.*, *Pertusaria sp.* e *Evernia sp.*.

Na zona amarela (IPA inferior a 13), foram encontrados os géneros *Lepraria sp.*, *Parmelia sp.* e *Ramalina sp.*.

Às zonas verde-clara, verde-escuro e azul-escuro (IPA inferior a 34) aos géneros anteriormente descritos, juntaram-se a *Xanthoria sp.*, *Buellia sp.*, e *Usnea sp.* .

Tal como já tinha sido referido, tudo indica que também a biodiversidade de líquenes é afectada pela contaminação atmosférica.

Pela metodologia da ANPA (2001) pudemos distinguir no concelho três zonas que vão desde o deserto liquénico, localizado imediatamente a sul da chaminé da fábrica, na zona dos ventos predominantes, até à semi-alteração localizada entre a zona a norte da chaminé da fábrica e a zona a sul da A23, tirando uma parte a norte mesmo junto à chaminé da fábrica que se insere na zona de deserto liquénico.

Pela metodologia Nimis (1999) os valores da estação 1 e estação 10 mostram-se discrepantes em relação aos outros valores das estações próximas. Tal poderá dever-se ao facto da estação 1 estar situada numa pequena depressão de terreno com arvoredo a norte, e que por isso poderá fazer com que esteja mais protegida dos ventos. Mas também poderá dever-se ao facto de, na estação 10, os líquenes terem-se ressentido provavelmente devido à utilização de fertilizantes químicos, e não da poluição que estamos a tratar, já que os terrenos estavam totalmente revolidos na altura da amostragem, indicando que tinham sido lavrados há pouco tempo.

Não obstante, se compararmos estas estações pela metodologia ANPA (2001) verificamos que a estação discrepante é a estação 1, já que a mesma vai formar um corredor vermelho que significa alteração, no meio de uma mancha cinzenta que representa o deserto liquénico. Prestou-se pois esta metodologia mais recente para tirar as dúvidas quanto aos valores da estação 1 e 10. Assim ao que tudo indica será devido à localização favorecida da estação 1 que a mesma obtém aquele valor de IPA discrepante em relação aos outros valores das estações próximas.

Pela análise tanto de uma como de outra metodologia, e tendo em conta o número e localização das estações que melhoraram, poderá estar a ocorrer nestes últimos quatro anos uma incidência do rumo dos ventos de Sul e Oeste. Infelizmente, esta suspeição não poderá ser confirmada já que a estação meteorológica de Tancos/Base Aérea tem o anemómetro danificado desde Abril de 2004. Mas os valores apurados até esse mês e ano permitem pelo menos não abandonar esta hipótese da influência do rumo dos ventos de Sul e Oeste.

4.4 – Análise estatística dos resultados – Correlação de Pearson

Utilizou-se o programa estatístico SPSS Statistics 17.0 para fazer a correlação das variáveis.

Da leitura desses dados pode concluir-se o seguinte, (Anexo IV):

Dado que os valores do método de Nimis (1999) dos anos 2003 e de 2007, e os valores do método IBL da ANPA (2001) do ano 2007 têm valores de correlação superiores a 0.70 então isso significa que existe uma forte correlação entre os três métodos. Curiosamente, se analisarmos a correlação que existe entre apenas 2 métodos, descobrimos que os dois métodos que estão mais correlacionados são exactamente o de Nimis de 2007 e o de IBL também do mesmo ano, com um valor forte de correlação de 0.964. Isto deve-se apenas ao facto de estarmos a comparar valores do mesmo ano e ainda por cima com o mesmo número de estações de amostragem. Enquanto no ano 2003 existiam dezassete estações de amostragem, no ano 2007 existem apenas quinze estações de amostragem. Mas de qualquer modo, fica assim demonstrado que estes dois métodos têm de facto uma forte correlação entre eles. Pode-se então escolher qualquer um deles para efectuar estudos desta natureza.

Fazendo agora a correlação entre os três métodos e a distância a que os líquenes foram encontrados pode verificar-se o seguinte: a correlação de Pearson entre a distância e o método de Nimis realizado em 2003 é a que apresenta maior correlação (0.548), embora este valor nos indique que só estamos perante uma correlação moderada. Já o método que apresenta menor correlação com a distância, é o IBL da ANPA (2001) com um valor de correlação moderada de apenas 0.453. Tentou-se ainda fazer a correlação entre os três métodos e a orientação geográfica dos líquenes, mas tal não foi possível dada a complexidade dos dados.

Ora, tendo em conta esta análise anterior, tudo indica que o método de Nimis (1999) será o mais acertado - pese embora o facto de se ter encontrado apenas uma correlação moderada - caso se queira fazer um estudo entre a distância à origem da fonte poluidora e a quantidade de líquenes encontrada na envolvente.

Conclusão

A análise do caso apresentado confirma existir uma relação directa entre a poluição atmosférica e a biodiversidade de líquenes. É notório também o facto que a influência do rumo do vento tem sobre a dispersão de poluentes e consequentemente sobre a biodiversidade líquénica. Há muito anos que se provou que os líquenes epífitos resultam bem como bioindicadores da qualidade atmosférica. Recentemente ficou até demonstrado que existe relação directa entre a biodiversidade líquénica e a mortalidade devida a cancro de pulmão. E por isso, seria de todo o interesse continuar este estudo no sentido de se poder avaliar da relação entre a biodiversidade líquénica e a mortalidade devida a cancro de pulmão na população do concelho de Constância.

Os líquenes foram os organismos escolhidos pela Comunidade Europeia para avaliação da saúde ambiental dos bosques europeus, tendo sido reconhecidos como os melhores bioindicadores da contaminação atmosférica. Parece apenas que o que não está claramente demonstrado é qual o método a utilizar, que garanta a maior fiabilidade dos dados, uma vez que existem uma grande variedade de métodos, inclusive existem vários IPA que mais não são que derivações do primeiro IPA que foi desenvolvido por LeBlanc e De Sloover em 1968. Todas estas diferenças de métodos resultam do facto das condições ambientais e das espécies líquénicas variarem muito de país para país. O método ideal seria aquele que tivesse em conta os factores climáticos e vegetativos da zona, a sensibilidade das espécies líquénicas existentes na região, para que se pudesse desenvolver um IPA de acordo com a espécie mais sensível.

Neste trabalho utilizaram-se duas metodologias, e os valores entre uma e outra foram concordantes, como comprova também a análise estatística feita às metodologias. As zonas de deserto líquénico são coincidentes, bem como as zonas de semi-alteração da biodiversidade

liquénica com as zonas de média a discreta qualidade do ar. Se uma das metodologias permite-nos visualizar as zonas coloridas ponto por ponto, a outra permite-nos colorir faixas e por isso ser imediata a visualização correcta das zonas mais a menos poluídas. A metodologia Nimis (1999) permite efectuar o trabalho quatro vezes mais rapidamente que a metodologia ANPA (2001), embora esta última seja mais objectiva pois o *reticulum* está exactamente colocado para coincidir com os 4 pontos cardeais.

Uma outra proposta de seguimento deste estudo passará pela construção de uma tabela de espécies liquénicas existentes em Portugal e a sua relação com os valores de SO₂, para que se possa depois construir também uma tabela de valores de correlação com o IPA. É por demais evidente a dificuldade que existe em pôr em prática qualquer metodologia que envolva a relação entre espécies liquénicas e os valores de SO₂ por não existir esse inventário aplicado aos líquenes existentes em Portugal.

Há que ter em conta também que as novas tecnologias de informação, como sejam a modelação ambiental e os sistemas de informação geográfica (SIG's), deverão cada vez mais ter um papel activo neste tipo de estudos. Através de modelação já se consegue prever a dispersão de poluentes atmosféricos com alguma fiabilidade e por isso, seria de todo o interesse começarem a existir cada vez mais mapas de SIG's, contendo a sobreposição dos poluentes atmosféricos com a abundância de uma espécie liquénica, bem como as respectivas análises laboratoriais aos elementos contidos nos tecidos dessa mesma espécie. Não se pode também esquecer a ajuda preciosa que o GPS tem ou irá ter neste tipo de estudos, já que a posição de cada forófito fica mais fácil de encontrar com a ajuda das coordenadas por GPS.

Referências bibliográficas

AMMANN, K.; HERZIG, R.; LIEBENDÖRFER, L.; URECH, M. (1987) - *Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland*. *Advances in Aerobiology*, **51**, 401-406.

ANPA (2001) - *I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica: manuale*. ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.

ARPA (2003) - *Biomonitoraggio della qualità dell'aria nel territorio della provincia di Rimini mediante la biodiversità dei licheni epifiti*. ARPA, Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia Romagna, Rimini.

ASTA, J.; ERHARDY, W.; FERRETTI, M.; FORNASIER, F.; KIRSCHBAUM, U.; NIMIS, P.L.; PURVIS, O.W.; PIRINTSOS, S.; SCHEIDEGGER, C.; van HALUWYN, C.; WIRTH, V. (2003) – *European Guideline for Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Stress*.

AUGUSTO, S.; PINHO, P.; PEREIRA, M. J.; SOARES, A.; BRANQUINHO, C. (2006) – *Os Líquenes como biomonitores de poluição atmosférica – o projecto SinesBioar*. Portal da Naturlink <http://www.naturlink.pt/canais/artigo.asp?iCanal=1&iSubCanal=11&iArtigo=16710&iLingua=1>

BRANQUINHO, C.; MATOS, J.; MOURA, I.; SACRAMENTO, C.; AUGUSTO, S.; XAVIER, J. (2004) – *Optimização de transplantes de líquenes para calibração com a rede de amostragem da qualidade do ar*. Actas da 8ª Conferência Nacional do Ambiente. Lisboa, 2004.

BURTON, M.A.S. (1986) - *Biological monitoring of environmental contaminants (plants)*. MARC Report n.32. Monitoring and Assessment Research Centre, King's College London, University of London.

CARTAXO, L. (1989) - *O sector da celulose em Portugal*. Tese de mestrado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 1989.

CHAPARRO, M.; AGUIRRE, J. (1995) - *Líquenes - morfología, anatomía y sistemática*. 1 ed. Bogotá : Centro de publicaciones de física - Universidad Nacional de Colombia, v.1. p.142.

CISLAGHI, C.; NIMIS, P. L. (1997) – *Lichens, Air Pollution and Lung Cancer*, *Nature* **384**, 463-464.

COUTIÑO, B.; MONTAÑEZ, A. L. (2000) – *Los Líquenes*, *Revista Ciencias* n.º59. Julio-Septiembre. pp. 64-65.

CRESPO, A., BARRENO, E.; SANCHEZ, L.G.; GONZÁLEZ BUENO A. (1981) - *Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante bioindicadores líquénicos*. *Lazaroa*, **3**: 289-311. Madrid.

DeSLOOVER, J.; F. LeBLANC (1968) - *Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity*. *Proc. Symp. Recent Adv. Trop. Ecol.* 1968: 42-56.

GARTY, J. (1985) - *Correlation between chlorophyll degradation and the amount of some elements in the lichen *Ramalina duriae**. *Environmental and Experimental Botany*, **25**, 1, 67-74.

GOMBERT, S.; ASTA J. (1998) - *The effect of refuse incinerator fumes on the lead and cadmium content of experimentally exposed corticolous lichens*. *Water, Air and Soil Pollution*, **XX**, 1-12.

- HAWKSWORTH, D.L.; ROSE, F. (1970)** - *Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichen*. *Nature*, **227**, 145-148.
- IM (1990)** – *O Clima de Portugal*. Instituto de Meteorologia. Lisboa, 1990.
- KOVÁCS, M. (ed.) (1992)** - *Biological indicators in environmental protection*. Ellis Horwood, New York.
- LORENTE, V. C.; SÁNCHEZ, M. J. (2000)** - *Guia de Líquenes Epífitos*, Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
ISBN: 84-8014-298-7
- NIMIS, P.L.; CICCARELLI, A.; LAZZARIN, G.; BARGAGLI, R.; BENEDET, 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)* — *Boll. Mus. civ. St. nat. Verona* **16**: 1-154.
- NIMIS, P.L. (1990)** - *Air Quality Indicators and Indices. The use of plants as bioindicators and biomonitors of air pollution*. A.G. Colombo & G. Premazzi (eds): *Proc. Workshop on Indicators and Indices*, JRC Ispra. EUR 13060 EN:93-126.
- NIMIS P.L. (1999)**. *Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti*. Workshop 'Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale'. Roma 26-27 novembre 1998. ANPA – Serie Atti, X/1998. pp. 267- 277.
- NIMIS P.L., 2003**. *Checklist of the Lichens of Italy 3.0*, University of Trieste, Dept. of Biology, IN 3.0/2 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>).
- NYLANDER, W (1866)** - *Les lichens du Jardin du Luxembourg*. *Bull Soc Bot Fr* **13**: 364-372.
- PINHO, P.; AUGUSTO, S.; BRANQUINHO, C.; BIO. A.; PEREIRA, M.J.; SOARES, A.; CATARINO, F. (2004)** – *Mapping Lichen Diversity as a First Step for Air Quality Assesment*, *Journal of Atmospheric Chemistry* **49**: 377-389, 2004.
- POLUNIN, O.; SÁNCHEZ, M. J. (1999)** - *Árboles y Arbustos de Europa*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona. ISBN: 84-282-0470-5
- SALEGUI, A. F. (2002)** – *Los Líquenes como Bioindicadores de la Contaminación Atmosférica*, *Boletín del Centro de Interpretación de la Naturaleza de Valladolid*. n.º 58. Marzo-Abril. pp. 12-13
- SERNANDER, R. (1926)** - *Stockholms Natur. – Almquist & Wiksells*, Uppsala & Stockholm.
- WIRTH, V. (1988)** - *Phytosociological approaches to air pollution monitoring with lichens*. *Lichens, bryophytes and air quality*, Nash, T.H. and Wirth, V. (eds.), J.Cramer, Berlin.

WEBGRAFIA

AIRNET Science Curriculum Tools & Techniques [Web Page] «(www.airnet-us.org)»

Acedida em Junho 2002.

CIÊNCIAJ [Web Page] «(<http://www.ajc.pt/ciencia/n05/eco.php3>)» Acedida em Junho 2002.

CONSTÂNCIA - RELATÓRIO DO PROJECTO DE CARTOGRAFIA DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL 1996 [Web Page]
«(<http://snig.igeo.pt/Portugues/Apps/Crif/relatorios/constancia/Constancia.html>)» Acedida em Maio de 2007.

FUNGUS KINGDOM [Web Page]
«(<http://www.cartage.org.lb/en/themes/Sciences/BotanicalSciences/MajorDivisions/KingdomFungi/FungusKingdom/FungusKingdom.htm>)» Acedida em Janeiro de 2003.

GASEOUS POLLUTANTS [Web Page] «(<http://www.umweltbundesamt.de>)» Acedida em Outubro 2002.

NATIONAL LICHENS & AIR QUALITY DATABASE AND CLEARINGHOUSE
[Web Page] «(<http://gis.nacse.org/lichenair/>)» Acedida em Janeiro de 2003.

POLLUTION EFFECTS ON LICHEN MORPHOLOGY [Web Page]
«(<http://www.fs.fed.us/r6/aq/lichen/morpholo.htm>) » Acedida em Maio de 2007.

PROJECTO SINESBIOAR [Web Page] «(<http://www.ccdr-a.gov.pt/sinesbioar/>) » Acedida em Novembro de 2007.

ANEXO I

(Resultados da Amostragem – método de Nimis)

Resultados da Amostragem

Zona 1:

Zona 1	
Estação de amostragem 1	

Rua de Santo António (Constância Sul)
(cerca de 450 m (S) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*) data de realização: 17/Maio/2003

	Forófitos					
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Pleurococcus viridis</i>	4	0	0	0	0	
FREQUÊNCIA	4	0	0	0	0	0,8

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*) data de realização: 22/Junho/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	10	8	10	10
FREQUÊNCIA	10	10	8	10	10

Estação de amostragem 2

Parque de madeiras da Caima (Constância Sul)
(cerca de 200 m (NE) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Oliveira (*Olea europaea*) data de realização: 18/Maio/2003

	Forófitos						
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5		
<i>Pleurococcus viridis</i>	4	4	4	5	5		
FREQUÊNCIA	4	4	4	5	5	4,4	

Forófito: Oliveira (*Olea europaea*) data de realização: 14/Junho/2007

	Forófitos					
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>não existem espécies</i>	0	0	0	0	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0	0

Estação de amostragem 3

Quinta das Areias (Constância Sul)
(cerca de 350 m (NE) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Cipreste-comum (*Cupressus sempervirens*) data de realização: 18/Maio/2003

Espécie líquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	6	10	6	6	
FREQUÊNCIA	10	6	10	6	6	7,6

Forófito: Cipreste-comum (*Cupressus sempervirens*) data de realização: 14/Junho/2007

Espécie líquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	0	10	10	0	
FREQUÊNCIA	10	0	10	10	0	6

Estação de amostragem 4

Bairro da Caima (Constância Sul)
(cerca de 375 m (S) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*) data de realização: 18/Maio/2003

Espécie líquénica	Forófitos			
	F1	F2	F3	
<i>Nãoexiste</i>	0	0	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	0

Em 2007 foi impossível de realizar a amostragem devido à inacessibilidade aos forófitos.

Estação de amostragem 5

Escola Primária (Constância Sul)
(cerca de 500 m (E) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 18/Maio/2003

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 21/Junho/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	
Não existe	0	0	0	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Zona 2:

Zona 2		
Estação de amostragem 6		

Largo da Igreja da Misericórdia (Constância)
(cerca de 825 m (N) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Lodoeiro (*Celtis Australis*) data de realização: 17/Maio/2003

	Forófitos			
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4
<i>Xanthoria sp.</i>	10	10	5	7
<i>Parmelia caperata</i>	6	10	6	7
FREQUÊNCIA	16	20	11	14
				15,25

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*) data de realização: 19/Maio/2007

	Forófitos			
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4
<i>Xanthoria sp.</i>	4	8	7	1
<i>Parmelia caperata</i>	10	9	10	10
<i>Lecanora</i>	10	10	5	4
FREQUÊNCIA	24	27	22	15
				22

Estação de amostragem 7

Antiga Torre de Menagem

(Constância)

(cerca de 600 m (N) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Freixo-europeu (*Fraxinus excelsior*)

data de realização:

17/Maio/2003

	Forófitos			
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4
<i>Lecanora sp.</i>	9	3	7	0
<i>Pertusaria amara</i>	0	3	0	3
<i>Pertusaria flavida</i>	0	0	0	0
<i>Evernia prunastri</i>	1	0	0	2
FREQUÊNCIA	10	6	7	5
				7

Forófito: Freixo-europeu (*Fraxinus excelsior*)

data de realização:

19/Maio/2007

	Forófitos			
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4
<i>Lecanora sp.</i>	6	10	9	8
<i>Pertusaria amara</i>	9	0	0	0
<i>Pertusaria flavida</i>	1	0	1	0
<i>Evernia prunastri</i>	0	1	0	0
<i>Parmelia Perlata</i>	0	6	6	2
<i>Pleurococcus viridis</i>	0	10	0	0
FREQUÊNCIA	16	27	16	10
				17,25

Estação de amostragem 8

Estrada Nacional 118 (Constância Sul)
(cerca de 600 m (E) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização:
17/Maio/2003

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização:
22/Junho/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Estação de amostragem 9

Cemitério da Praia do Ribatejo (Praia do Ribatejo)
(cerca de 775 m (W) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Cipreste-comum (*Cupressus sempervirens*)

data de realização:
17/Maio/2003

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	10	10	10	10
FREQUÊNCIA	10	10	10	10	10

Forófito: Cipreste-comum (*Cupressus sempervirens*)

data de realização:
19/Maio/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	10	0	10	10
FREQUÊNCIA	10	10	0	10	10

Estação de amostragem 10

Cota 80 m Sul
(cerca de 600 m (S) de distância da chaminé da Caima - Sul)

Forófito: Sobreiro (Quercus suber)

data de realização:
03/Junho/2003

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Forófito: Sobreiro (Quercus suber)

data de realização:
21/Junho/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Estação de amostragem 11

Feital - junto à linha de caminhos de ferro
(cerca de 725 m (E) de distância da chaminé da Caima - Sul)

Forófito: Sobreiro (Quercus suber)

data de realização:
06/Junho/2003

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0
FREQUÊNCIA	0	0	0	0	0

Forófito: Sobreiro (Quercus suber)

data de realização:
01/Julho/2007

	Forófitos				
Espécie líquénica	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Pleurococcus viridis</i>	0	0	10	10	10
FREQUÊNCIA	0	0	10	10	10

Zona 3:

Zona 3

Estação de amostragem 12

Quinta da Capareira (Constância)
(cerca de 1050 m (N) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 16/Maio/2003

Espécie líquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Evernia prunastri</i>	10	10	2	5	10	20,8
<i>Lepraria sp.</i>	4	6	4	2	0	
<i>Parmelia caperata</i>	5	3	10	9	5	
<i>Parmelia perlata</i>	0	2	10	5	2	
FREQUÊNCIA	19	21	26	21	17	

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 16/Maio/2007

Espécie líquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Evernia prunastri</i>	10	10	7	10	*	29
<i>Lepraria sp.</i>	7	2	4	2	*	
<i>Parmelia caperata</i>	10	10	9	10	*	
<i>Parmelia perlata</i>	6	5	8	5	*	
<i>Lecanora sp.</i>	0	1	0	0	*	
FREQUÊNCIA	33	28	28	27	*	

* F5 foi descortçada em 2006.

Estação de amostragem 13

Parque Ambiental (Santa Margarida)
(cerca de 2000 m (SE) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 17/Maio/2003

Espécie liquénica	Forófitos				
	F1	F2	F3	F4	
<i>Parmelia sp</i>	3	10	3	10	
<i>Ramalina sp</i>	1	3	7	0	
FREQUÊNCIA	4	13	10	10	9,25

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 22/Junho/2007

Espécie liquénica	Forófitos			
	F1	F2	F3	
<i>Parmelia perlata</i>	9	10	10	
<i>Ramalina sp</i>		2		
<i>Evernia prunastri</i>	10	2	6	
<i>Lepraria sp.</i>	10			
FREQUÊNCIA	29	14	16	19,67

* O forófito 4 não se encontra em condições de realizar a amostragem

Estação de amostragem 14

Cota 112 m Sul
(cerca de 1100 m (S) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 03/Junho/2003

Espécie liquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Pleurococcus viridis</i>	0	0	0	7	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	7	0	1,4

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 21/Junho/2007

Espécie liquénica	Forófitos					
	F1	F2	F3	F4	F5	
<i>Não existe</i>	0	0	0	0	0	
FREQUÊNCIA	0	0	0	7	0	1,4

Estação de amostragem 15

Cardal

(cerca de 1250 m (SE) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 06/Junho/2003

Espécie líquénica	Forófitos				
	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Pleurococcus viridis</i>	0	0	10	10	10
FREQUÊNCIA	0	0	10	10	10

6

Em 2007 devido a um grave acidente de viação, 3 dos forófitos estavam bastante danificados não sendo possível proceder à amostragem.

Estação de amostragem 16

Casal do Patarata

(cerca de 1625 m (E) de distância da chaminé da Caima)

Forófito: Oliveira (*Olea europaea*)

data de realização: 07/Junho/2003

Espécie líquénica	Forófitos				
	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Evernia sp.</i>	0	1	0	0	0
<i>Parmelia caperata</i>	1	4	4	4	6
<i>Lepraria sp.</i>	7	5	10	10	7
FREQUÊNCIA	8	10	14	14	13

11,8

Devido a inacessibilidade ao forófito anterior por as mesmas estarem vedadas com cerca, escolheu-se um novo forófito exactamente a 40 m do antigo.

Forófito: Sobreiro (*Quercus suber*)

data de realização: 22/Junho/2007

Espécie líquénica	Forófitos			
	F1	F2	F3	F4
<i>Pleurococcus viridis</i>	10	10	10	10
FREQUÊNCIA	10	10	10	10

10

Estação de amostragem 17

Quinta da Alegria

(cerca de 1725 m (N) de distância da chaminé da Caima e a 100 m de distância da A23)

Forófito: Oliveira (*Olea europaea*)

data de realização: 07/Junho/2003

Espécie líquénica	Forófitos				
	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Evernia prunastri</i>	0	2	8	1	0
<i>Lepraria sp.</i>	7	5	0	9	3
<i>Parmelia caperata</i>	3	9	3	10	10
<i>Parmelia perlata</i>	9	7	0	7	0
<i>Usnea sp.</i>	0	2	0	0	0
FREQUÊNCIA	19	25	11	27	13
					19

Forófito: Oliveira (*Olea europaea*)

data de realização: 12/Junho/2007

Espécie líquénica	Forófitos				
	F1	F2	F3	F4	F5
<i>Lepraria sp.</i>	4	7	6	10	*
<i>Parmelia caperata</i>	10	8	5	6	*
<i>Parmelia perlata</i>	6	5	10	4	*
FREQUÊNCIA	20	20	21	20	*
					20,25

* esta oliveira foi cortada.











ANEXO II











(Resultados da Amostragem – método de ANPA)

ANEXO III

(Ponderação dos valores da Amostragem)

Quadro III-1 – Ponderação dos valores da amostragem da Biomonitorização na envolvente da fábrica de celulose do Caima - Constância.

2003				
Qualidade do ar	Cor Gráfica	Peso atribuído (A)	Nº de estações (B)	A*B
Péssima	Vermelho 	-4	6	-24
Muito má	Laranja 	-3	1,5	-4,5
Má	Rosa 	-2	3,5	-7
Medíocre	Amarelo 	-1	3	-3
Baixa	Verde-claro 	0	1	0
Média	Verde-escuro 	1	2	2
Discreta	Azul-escuro 	2	0	0
Boa	Azul-claro 	3	0	0
Muito boa	Turquesa claro 	4	0	0
			17	-36,5
Média ponderada		-2,15	 Muito má/Má	

2007				
Qualidade do ar	Cor Gráfica	Peso atribuído (A)	Nº de estações (B)	A*B
Péssima	Vermelho 	-4	4	-16
Muito má	Laranja 	-3	1	-3
Má	Rosa 	-2	2	-4
Medíocre	Amarelo 	-1	3	-3
Baixa	Verde-claro 	0	1,5	0
Média	Verde-escuro 	1	2,5	2,5
Discreta	Azul-escuro 	2	1	2
Boa	Azul-claro 	3	0	0
Muito boa	Turquesa claro 	4	0	0
			15	-21,5
Média ponderada		-1,43	 Má/Medíocre	

ANEXO IV

(Análise estatística dos valores da Amostragem)

Em estatística descritiva, o **coeficiente de correlação de Pearson**, também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de "r de Pearson" mede o grau da correlação (e a direcção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de rácio).

Este coeficiente, normalmente representado por r assume apenas valores entre -1 e 1.

- $r = 1$ Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.
- $r = -1$ Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.
- $r = 0$ Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado $r = 0$ deve ser investigado por outros meios.

O coeficiente de correlação de Pearson calcula-se segundo a seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

onde x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos de ambas as variáveis.

Para além disso,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

e

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$$

são as médias aritméticas de ambas as variáveis.

A análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direcção se a correlação é positiva ou negativa, o tamanho da variável indica a força da correlação.

Interpretando (r):

- 0.70 para mais ou para menos indica uma forte correlação.
- 0.30 a 0.7 positivo ou negativo indica correlação moderada.
- 0 a 0.30 Fraca correlação.
-

Correlations

		VAR2003	VAR2007	IBL2007	Distância	orientação
VAR2003	Pearson Correlation	1	,855**	,849**	,548*	. ^a
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,023	.
	N	17	15	15	17	0
VAR2007	Pearson Correlation	,855**	1	,964**	,530*	. ^a
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,042	.
	N	15	15	15	15	0
IBL2007	Pearson Correlation	,849**	,964**	1	,453	. ^a
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,090	.
	N	15	15	15	15	0
Distância	Pearson Correlation	,548*	,530*	,453	1	. ^a
	Sig. (2-tailed)	,023	,042	,090		.
	N	17	15	15	17	0
orientação	Pearson Correlation	. ^a	. ^a	. ^a	. ^a	. ^a
	Sig. (2-tailed)
	N	0	0	0	0	0

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

a. Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

-
-
- CORRELATIONS /VARIABLES=VAR2003 VAR2007 IBL2007 Distância
orientação /PRINT=TWOTAIL NOSIG /STATISTICS DESCRIPTIVES
/MISSING=PAIRWISE.
-
-
-

ANEXO V

(Quadro-resumo de espécies identificadas vs. estações de amostragem)

Zona 1

Estação de amostragem 1

Rua de Santo António (Constância Sul)
(cerca de 450 m (S) de distância da chaminé da Caima)

Pleurococcus viridis maior incidência a Norte
menor incidência a Sul

Estação de amostragem 3

Quinta das Areias (Constância Sul)
(cerca de 350 m (NE) de distância da chaminé da Caima)

Pleurococcus viridis maior incidência a Norte
menor incidência a Sul e Oeste

Zona 2

Estação de amostragem 6

Largo da Igreja da Misericórdia (Constância)
(cerca de 825 m (N) de distância da chaminé da Caima)

<i>Xanthoria sp.</i>	maior incidência a Este menor predominância a Sul
<i>Parmelia caperata</i>	
<i>Lecanora</i>	

Estação de amostragem 7

Antiga Torre de Menagem
(Constância)
(cerca de 600 m (N) de distância da chaminé da Caima)

Existem mais espécies notificadas pelo método Nimis do que pelo método IBL

Maior predominância de espécies a
ESTE

Estação de amostragem 9

Cemitério da Praia do Ribatejo (Praia do Ribatejo)
(cerca de 775 m (W) de distância da chaminé da Caima)

maior predominância a
Pleurococcus viridis Norte
menor predominância a Sul e Oeste

Estação de amostragem 11

Feital - junto à linha de caminhos-de-ferro
(cerca de 725 m (E) de distância da chaminé da Caima - Sul)

maior predominância a
Pleurococcus viridis Norte

Zona 3

Estação de amostragem 12

Quinta da Capareira (Constância)
(cerca de 1050 m (N) de distância da chaminé da Caima)

Maior predominância de espécies a Norte
Menor predominância de espécies a Oeste

Estação de amostragem 13

Parque Ambiental (Santa Margarida)
(cerca de 2000 m (SE) de distância da chaminé da Caima)

Existem mais espécies notificadas pelo método IBL do que pelo método Nimis

Maior predominância de espécies a Norte
Menor predominância de espécies a Este

Estação de amostragem 16

Casal do Patarata
(cerca de 1625 m (E) de distância da chaminé da Caima)

maior predominância a
Pleurococcus viridis Norte

Estação de amostragem 17

Quinta da Alegria
(cerca de 1725 m (N) de distância da chaminé da Caima e a 100 m de distância da A23)

Maior predominância de espécies a Norte e
Este.

**Menor predominância de espécies a
Sul**