

Viviane Lourenço de Amorim

**BARREIRAS VEGETAIS PARA MITIGAÇÃO DE ODORES  
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
DE UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de "Magister Scientiae".

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004

VIVIANE LOURENÇO DE AMORIM

**BARREIRAS VEGETAIS PARA MITIGAÇÃO DE ODORES  
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
DE UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de "Magister Scientiae".

APROVADA: 27 de fevereiro de 2004

---

Prof. Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá  
(Conselheiro)

---

Prof. Wantuelfer Gonçalves  
(Conselheiro)

---

Prof. Fernando da Costa Baêta

---

Prof. Elias Silva

---

Prof. Cláudio Mudado Silva  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

“Aquele que vai sozinho poderá chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, certamente chegará mais longe...”

A obtenção do título de mestre é uma tarefa muito difícil, porém gratificante. No decorrer deste trabalho aprendi muito e tive a oportunidade de trabalhar e conviver com várias pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desta dissertação. Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a execução desse trabalho, especialmente:

ao professor Cláudio Mudado Silva, pela orientação, pelos conselhos e, principalmente, pelo crédito e apoio na realização desse trabalho;

ao professor Wantuelfer Gonçalves, pelas sugestões apresentadas;

ao professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pela compreensão, estímulo e apoio que foram essenciais na elaboração desse trabalho;

à Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade concedida;

ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa;

à Aracruz Celulose S.A., pelo apoio prestado à pesquisa, em especial à equipe do Laboratório Central e ao Eng<sup>o</sup> Alberto Carvalho de Oliveira Filho, gerente de meio ambiente e segurança industrial;

aos colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial aos do Laboratório de Celulose e Papel, pelo apoio para a realização desse trabalho;

a todos os meus amigos que de alguma forma me apoiaram no decorrer dessa pesquisa, em especial, Flávia Corrêa Borges Antunes e Giovana Martinelli da Silva.

Especialmente, agradeço a Deus, nosso Criador, que além de me proporcionar mais essa oportunidade, deu-me ânimo, coragem e saúde para desenvolver esse trabalho.

“O valor social da natureza precisa ser reconhecido e seu poder, mais do que combatido, deve ser aproveitado.”

Anne Whiston Spirn

## CONTEÚDO

<b>RESUMO</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	4
<b>2.1. Clima e relevo</b>	4
2.1.5.1. Radiação solar	5
2.1.5.2. Temperatura	6
2.1.5.3. Umidade	6
2.1.5.4. Precipitação	7
2.1.5.5. Vento	8
2.1.5.6. Relevo	11
2.1.5.7. Fenômenos relacionados com a dispersão atmosférica	12
<b>2.2. Poluição atmosférica</b>	17
2.2.1. Composto de enxofre	19
2.2.2. Dispersão atmosférica dos poluentes	21
2.2.3. Odor	23
2.2.4. Odor em indústrias de celulose Kraft	30
<b>2.3. Vegetação</b>	37
2.3.1. Classificação da vegetação	37
2.3.2. Vegetação e elementos climáticos	40
2.3.3. Métodos de controle do odor com uso de vegetação	43
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	52
<b>3.1. Caracterização e localização do objeto de estudo</b>	52
3.1.1. O Estado do Espírito Santo	53
3.1.1. O Município de Aracruz	53
3.1.3. A indústria Aracruz Celulose S.A.	54
<b>3.2. Metodologia</b>	59
3.2.1. Diagnóstico da estação de tratamento de efluente (ETE) estudada	59
3.2.2. Caracterização climática da área estudada	60
3.2.3. Estudos para a composição das barreiras vegetais	61

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	63
<b>4.1. Diagnóstico da ETE estudada</b>	63
4.1.1. Vazão e temperatura	63
4.1.2. Oxigênio dissolvido	65
4.1.3. pH	65
4.1.4. Acúmulo de lodo nas lagoas	66
4.1.5. Emissões odoríferas das lagoas	67
<b>4.2. Caracterização climática da área estudada</b>	68
4.2.1. Análise dos dados meteorológicos	68
<b>4.3. Proposição de elementos paisagísticos para a         mitigação dos odores nas comunidades</b>	75
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	85
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	89

## RESUMO

AMORIM, Viviane Lourenço de Amorim, M.S.; Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Barreiras vegetais para mitigação de odores em estação de tratamento de efluentes de uma indústria de celulose.** Orientador: Cláudio Mudado Silva. Conselheiros: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá e Wantuelfer Gonçalves.

Processos de tratamento biológico de efluentes líquidos podem gerar odores em função da presença de compostos oriundos da atividade anaeróbia. Estes odores são ainda mais acentuados nas indústrias de celulose Kraft devido à presença de compostos de enxofre reduzido (TRS) presentes nos efluentes. Esses compostos odoríferos podem vir a prejudicar a saúde e a qualidade de vida das comunidades próximas às ETEs. Uma forma de atenuar os efeitos das emissões geradas nas ETEs consiste na implantação de barreiras físicas de forma a desviar das regiões habitadas e afetadas, as correntes aéreas que transportam tais compostos. O objetivo desse trabalho foi o de investigar as condições de funcionamento na ETE de uma fábrica de celulose brasileira composta por lagoas aeradas facultativas seguida de lagoa de decantação, e sugerir a implantação de barreiras vegetais, de modo a atenuar os odores gerados nas lagoas, que eventualmente atingem algumas comunidades circunvizinhas. Assim, elaborou-se um diagnóstico da ETE procurando verificar as suas principais deficiências que acarretam na geração dos compostos odoríficos. Estudou-se o comportamento climático da região e investigou-se as características das espécies vegetais para a composição de elementos paisagísticos. Finalmente, desenvolveu-se uma alternativa para a implantação de barreiras na região.



## ABSTRACT

AMORIM, Viviane Lourenço de Amorim, M.S.; Universidade Federal de Viçosa, february 2004. **Windbreak walls for mitigating odour in pulp mill effluent treatment plant.** Advisor: Cláudio Mudado Silva. Committee members: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá e Wantuelfer Gonçalves.

Effluent biological treatment processes may produce odors due to the presence of compounds originated from anaerobic biological activity. These odors are accentuated in Kraft pulp mills because of the presence of Total Reduced Sulfur (TRS) compounds in the mill effluent. These odoriferous compounds may cause harm to the public health and to the quality of life of the people who live in the communities located nearby the effluent treatment plant. One way to reduce the effects of the emissions consists of the implantation of physical barriers (wind breaks) to deviate the plume from the inhabited and affected regions. The objectives of this work was to investigate the conditions of a Brazilian pulp mill treatment facility composed of five aerated lagoons in series, followed by a sedimentation lagoon, and suggest the implementation of vegetal barriers to minimize the effect of odors generated in the lagoons in the nearby communities. A diagnostic of the treatment facility was carried out in order to verify the generation of the odoriferous compounds. The climatic condition of the region was studied and the characteristics of the vegetal species used to compose the windbreaks were investigated. An design of windbreaks was developed for the specific mill site.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade de vida de uma população é caracterizada pelas facilidades e restrições que determinados fatores lhe impõem, tais como os sociais, geográficos, ambientais, econômicos e históricos.

Dentre esses fatores, merece atenção a degradação do ar e dos corpos d'água nas grandes cidades brasileiras e nas áreas industriais, sujeitos a um processo crescente de contaminação por poluentes nocivos à saúde humana.

O ar, elemento básico para a vida, pode ser poluído por fontes naturais e antrópicas. Dentre as fontes naturais podem-se citar os vulcões, as florestas (queimadas naturais), a decomposição anaeróbia da matéria orgânica e a desnitrificação por bactérias. Entre as fontes antrópicas, as principais são as indústrias, os meios de transporte, a destruição e queima de vegetação, a queima de combustíveis, a queima do lixo, a aplicação de agrotóxicos e a fermentação de resíduos (Mota, 2000).

A Lei N<sup>o</sup>. 6.938, de 31 de agosto de 1981 — Política Nacional de Meio Ambiente — define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (Brasil, 1981).

Os primórdios da contaminação do ar por meio de processos industriais remontam à segunda metade do século XVIII, advento da Revolução Industrial. A expansão mundial da indústria e a conseqüente contaminação dos recursos naturais estimulou o início de estudos para a redução das emissões de poluentes.

Nas indústrias de celulose, podem-se encontrar exemplos para os vários tipos de poluição do ar, da água e do solo. Nessas indústrias, o processo de produção de celulose *Kraft* caracteriza-se por possuir um alto potencial poluidor com as emissões de gases odoríferos denominados de Compostos de Enxofre Total Reduzido (TRS – *Total Reduced Sulfur*). Esses compostos são compreendidos basicamente pelo gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e por três compostos orgânicos de enxofre: metil mercaptana ( $CH_3SH$ ), dimetil sulfeto ( $(CH_3)_2S$ ) e dimetil dissulfeto ( $(CH_3)_2S_2$ ). No processo, esses gases são gerados a partir do cozimento da madeira com sulfeto de sódio. Salienta-se que esses compostos, mesmo em concentrações bastante baixas (ppb) sensibilizam o olfato humano.

No processo fabril de celulose *Kraft*, consome-se uma grande quantidade de água e conseqüentemente gera-se um volume substancial de efluentes líquidos contendo diversos tipos de poluentes, sobretudo orgânicos. Dessa forma, faz-se necessário o seu tratamento através das estações de tratamento de efluentes.

O processo de tratamento externo de efluentes líquidos mais utilizado pelas indústrias de celulose consiste nos tratamentos preliminar, primário e secundário, sendo este último realizado através de lagoas aeradas, seguidas de lagoa de decantação. Às vezes, essas lagoas podem gerar odores desagradáveis em função da presença de TRS nos efluentes e devido à digestão anaeróbia do lodo que ocorre nas lagoas aeradas facultativas e nas lagoas de decantação. Isso pode constituir um problema para a saúde e a qualidade de vida das comunidades próximas a essas estações de tratamento.

Para minimizar problemas desse tipo, a indústria tem buscado alternativas. Existem várias técnicas preventivas para reduzir a geração dos compostos odoríficos nas fábricas, dentre elas, a perfeita coleta e queima dos gases concentrados e diluídos provenientes dos evaporadores e do digestor. Na

Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), a redução desses compostos poderia ser efetivada por métodos físicos e químicos, principalmente pela utilização de um maior número de aeradores ou pela adição de produtos oxidantes tais como  $H_2O_2$  e  $O_3$ . Tais técnicas podem, no entanto, resultar em custos de operação altos.

Uma forma de atenuar os efeitos das emissões geradas nas ETEs consiste na implantação de barreiras físicas de forma a desviar das regiões habitadas afetadas as correntes aéreas que transportam tais compostos.

Face à carência de estudos pertinentes nesse campo, o objetivo desse trabalho foi o de investigar as condições de funcionamento na ETE de uma fábrica de celulose brasileira e sugerir a implantação de barreiras vegetais, de modo a atenuar os odores gerados nas lagoas, que eventualmente atingem algumas comunidades circunvizinhas. Para alcançar esse objetivo, as seguintes atividades foram realizadas:

- diagnóstico da situação da ETE, procurando verificar as suas principais deficiências, sobretudo na geração dos compostos odoríficos;
- estudo do comportamento climático da região;
- investigação das características das espécies vegetais para a composição de elementos paisagísticos (barreiras);
- elaboração de uma proposta para mitigação do odor com o uso de elementos paisagísticos vegetais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Clima e relevo**

Segundo Rivero (1985), clima é o conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um lugar. De uma forma simplificada, os principais tipos de climas são: tropical úmido, tropical seco, subtropical, temperado. Essas denominações representam as características mais notáveis de uma região existindo, no entanto, infinitas variações, cada uma dando lugar a um microclima, de acordo com as particularidades e singularidades de cada área limitada.

Os fatores climáticos atuam de forma intrínseca na natureza e vice-versa. A ação simultânea das variáveis climáticas exerce influência sobre os ambientes (naturais ou construídos). Dependendo das condições climáticas e ou topográficas, poluentes lançados na atmosfera podem ser dispersos, não havendo conseqüências mais graves. No entanto, nem sempre ocorre a dispersão dos poluentes e a poluição do ar pode resultar em prejuízos à saúde humana, aos animais, aos vegetais e aos materiais em geral (Mota, 1981). Portanto, no estudo da poluição da atmosfera é essencial que se conheçam os fatores climáticos da região estudada.

### **2.1.1. Radiação solar**

A radiação solar é a energia provida pelo sol sob a forma de ondas eletromagnéticas, cujo espectro se distribui na faixa espectral de radiação térmica compreendida pelos comprimentos de onda de 0,1 a 3,0  $\mu\text{m}$ , a qual inclui as seguintes regiões do espectro e a correspondente porcentagem da energia solar que pode chegar na superfície terrestre: ultravioleta - 0,10 a 0,38  $\mu\text{m}$  (5%), luz visível - 0,38 a 0,78  $\mu\text{m}$  (46%), e infravermelha - 0,78 a 3,0  $\mu\text{m}$ , (49%) (Souza, 1994; Ayoade, 1998).

Da energia solar incidente na camada superior da atmosfera, somente uma parte dela chega à superfície terrestre. Quando a radiação penetra na atmosfera, a sua intensidade é reduzida e a sua distribuição espectral é alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar (Souza, 1994).

A quantidade de energia solar incidente no solo depende da transparência da atmosfera e da pureza do ar: a primeira relaciona-se às nuvens e a segunda está relacionada à presença de compostos químicos, poeira e vapor d'água na atmosfera. A existência de vapor d'água e materiais particulados na atmosfera faz com que a radiação seja difundida: uma parte dessa difusão retorna ao espaço e outra vai em direção à superfície terrestre. (Ayoade, 1998).

Outros fatores que também influenciam a distribuição da insolação sobre a superfície da Terra são: a distribuição das superfícies terrestres e aquáticas, a elevação e o aspecto das superfícies terrestres.

A terra e a água apresentam diferentes propriedades térmicas e reagem de modo distinto à insolação. A temperatura da água varia com uma velocidade menor do que a temperatura do solo. Enquanto a água tem a tendência de armazenar o calor que recebe, a terra, por outro lado, rapidamente o devolve à atmosfera (Odum, 1993).

Na superfície terrestre, a composição da sua cobertura e as diferentes altitudes e latitudes influenciam na quantidade de radiação que recebe, particularmente numa microescala ou numa escala local. Os valores de insolação em altitudes elevadas, sob céus claros, são geralmente maiores que os

verificados em lugares próximos ao nível do mar. Isso ocorre porque em lugares situados em altitudes elevadas, a massa de ar é menor, sendo, portanto, menor a interferência da atmosfera sobre a insolação (Odum, 1993). A espessura da camada de ar que influi na quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre depende da latitude geográfica de um ponto e dos ângulos que os raios solares fazem com o norte (azimute solar) e com o plano horizontal (altura solar), sendo que o valor máximo desta decresce dos trópicos até os pólos. Desse conjunto de fatores depende o equilíbrio térmico da terra (ganhos e perdas de calor). Os intercâmbios de calor na superfície terrestre ocorrem por meio de trocas radiantes (absorção e emissão) e trocas condutivas – convectivas por contato e movimento de massa na interface solo-atmosfera (principalmente chuvas e evaporação).

### **2.1.2. Temperatura**

A temperatura é a variável climática mais conhecida e de mais fácil medição. A partir de dados climáticos apresentados como normais climatológicas ou anos climáticos (*TRY – typical reference year*), pode-se conhecer o comportamento anual da temperatura do ar de um determinado lugar, seja em termos de valores de temperatura média, mínima ou máxima mais prováveis para cada período do ano.

Um importante aspecto dessa variável física está relacionado com as variações de orientação e de velocidade do ar que acontecem principalmente pelas diferenças de temperatura entre as massas de ar, provocando o deslocamento da área de maior pressão (ar frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve) (Lamberts *et al.*, 1997; Ayoade, 1998).

### **2.1.3. Umidade**

Umidade é o termo usado para descrever a quantidade de vapor de água contida na atmosfera. O vapor d'água atmosférico se origina a partir da superfície terrestre (processos de evaporação e transpiração); portanto, sua

maior concentração está nas baixas camadas da atmosfera. Quase a metade do vapor d'água total da atmosfera se encontra abaixo de 2000 metros. Com o aumento da altura há uma contínua diminuição na quantidade de umidade (Ayoade, 1998).

A quantidade de umidade da atmosfera pode ser medida de várias maneiras, sendo mais comuns os seguintes índices: umidade absoluta (relaciona a massa total de água em um determinado volume de ar); umidade específica (relaciona a massa de vapor d'água por quilograma de ar); índice de massa ou índice de umidade (relaciona a massa de vapor por quilograma de ar seco); umidade relativa (razão entre o conteúdo real de umidade de uma amostra de ar e a quantidade de umidade que o mesmo volume de ar pode conservar na mesma temperatura e pressão quando saturado, sendo expressa geralmente em porcentagem); temperatura do ponto de orvalho (temperatura abaixo da qual ocorrerá saturação de vapor d'água do ar ao se esfriar a uma pressão constante, sem aumento ou diminuição de vapor d'água); pressão vaporífica (pressão exercida pelo vapor contido na atmosfera, em milibares) (Ayoade, 1998).

Entre as medidas de umidade do ar citadas, a umidade relativa é a mais usada, por ser a mais fácil de se obter e computar por meio de termômetros de mercúrio de bulbo seco e de bulbo úmido. A umidade relativa indica o grau de saturação do ar, que é muito influenciada pela temperatura do ar (Frota e Schiffer, 2001).

O ar, em função da sua temperatura, pode conter uma quantidade maior ou menor de vapor d'água. Quando a quantidade de vapor d'água é o máximo que o ar pode conter para uma determinada temperatura, diz-se que o ar está saturado, condição na qual qualquer quantidade de vapor a mais irá se condensar (Lamberts *et al*, 1997).

#### **2.1.4. Precipitação**

A migração das águas superficiais para a atmosfera, sob a forma de vapor, será maior quanto maior forem a radiação solar incidente, a temperatura do ar e a velocidade do vento. A condensação do vapor d'água na atmosfera



forma nuvens, que redistribuem a água por meio de chuva, geada, neve ou granizo. A água que chega à superfície do solo flui por meio de córregos, rios e outros meios, voltando para o oceano (Romero, 1988).

A chuva ocorre principalmente pela ascensão de ar úmido que se condensa rapidamente ao entrar em contato com as massas de ar mais frias (Frota e Schiffer, 2001).

### **2.1.5. Vento**

O movimento do ar consiste, principalmente, da soma de dois componentes: o movimento em relação à superfície da Terra (o vento) e o movimento em conjunto com o giro da Terra em torno de seu eixo. Este segundo movimento exerce importantes efeitos sobre a direção dos ventos em relação à terra (Atkinson, 1972). Há duas dimensões a considerar para o estudo do movimento da atmosfera em relação à superfície da Terra: a dimensão horizontal e a vertical.

A causa primordial do movimento do ar é o desenvolvimento e a manutenção de um gradiente de pressão horizontal, que funciona como a força que induz o ar a se movimentar das áreas de alta pressão para as áreas de menor pressão. Diferenças horizontais de pressão são criadas por fatores térmicos e/ou mecânicos, sendo difícil a distinção entre os dois (Izard, 1980).

O movimento do ar pode ser induzido mecânica ou termicamente ou por uma combinação de ambos. Esses movimentos dão origem à condensação na atmosfera. A causa básica e fundamental do movimento atmosférico, horizontal ou vertical, é o desequilíbrio na radiação, na umidade e na quantidade de movimento entre as baixas e as altas latitudes e entre a superfície da Terra e a atmosfera. Outros fatores que influenciam a circulação atmosférica são: topografia, distribuição das superfícies continentais e oceânicas e correntes oceânicas (Atkinson, 1972).

Nas cidades, sabe-se que a velocidade do ar é menor no centro do que na periferia, mas isto não pode ser generalizado visto que muitas vezes o ar

canalizado entre edifícios altos aumenta consideravelmente sua velocidade (Rivero, 1985).

A velocidade e a direção do vento são geralmente medidas a 10m de altura nas estações meteorológicas. Essas estações devem ser localizadas em regiões abertas, longe de obstáculos, pois o movimento do ar sofre grande influência da rugosidade da superfície. Diagramas do tipo “rosa dos ventos” permitem mostrar a probabilidade de ocorrência de ventos nas principais orientações e sua velocidade (Lamberts *et al*, 1997).

#### 2.1.5.1. Influência de obstáculos no movimento do ar

A disposição de barreiras, dependendo da sua forma, pode gerar fenômenos de aceleração nas correntes de ar. Os casos mais importantes, de acordo com Izard (1980), são:

- Efeito de esquina: quando incide diretamente nas angulações do obstáculo, o vento sofre aceleração (Figura 1);

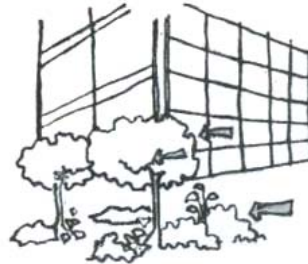
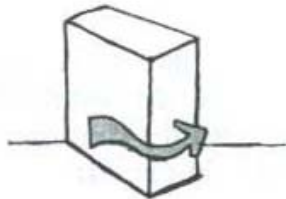


Figura 1: Efeito de esquina (Fonte: Romero, 2001)

- Efeito de Venturi: quando duas barreiras estão dispostas de forma convergente, cria-se uma aceleração no nível do solo (Figura 2);

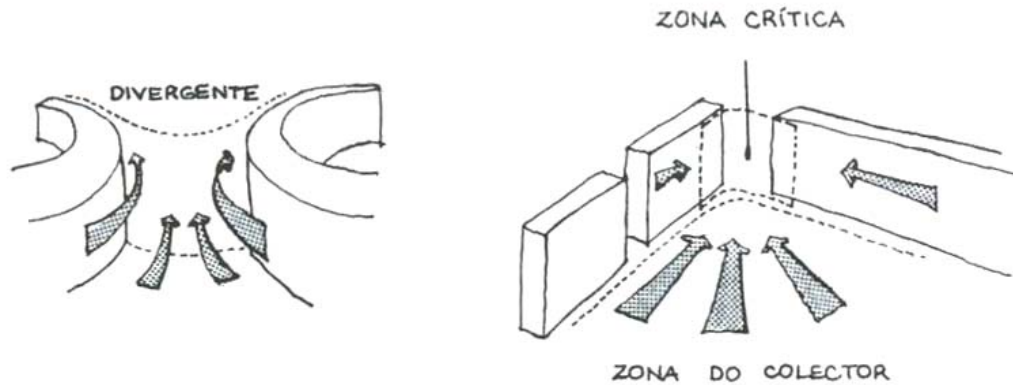


Figura 2 - Efeito de Venturi (Fonte: Romero, 2001)

- Efeito de pilotis: quando o obstáculo é vazado e livre ao nível do solo e o vento nele incide no plano maior, sua velocidade é aumentada ao circular por espaços de dimensões mais reduzidas, próximos ao solo (Figura 2.3).

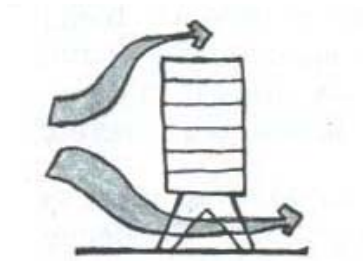


Figura 3 - Efeito de pilotis (Fonte: Romero, 2001)

Geralmente, quando existe uma barreira bloqueando a passagem do fluxo de ar (Figura 4), observa-se que na face AB se forma um tipo de colchão de ar pressionado, sobre o qual escorrega a massa de ar para depois escapar pelas extremidades. Sobre a superfície AB haverá uma pressão positiva, isto é, maior que a pressão atmosférica. A velocidade do vento nas bordas da barreira será maior do que no espaço livre. Nas bordas da barreira a direção do ar será oblíqua, como resultado do encontro do fluxo original com o que escorrega pelo colchão de ar. Quando a massa de ar escapa pelos lados da barreira, desloca, por fricção, o ar situado na parte posterior, podendo arrastá-lo consigo. Em função disso, na superfície CD são produzidas pressões negativas, ou um efeito de sucção, além de turbulências (Figura 4) (Rivero, 1985).

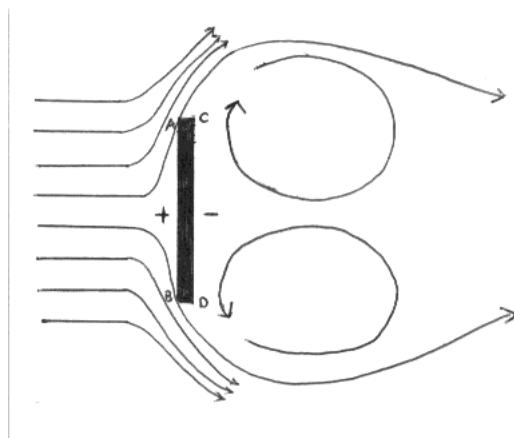


Figura 4 — Efeito aerodinâmico produzido pela incidência frontal do vento em uma barreira (Fonte: adaptado de Rivero, 1985)

### 2.1.6. Relevo

A força, a direção e a umidade dos fluxos de ar, influenciadas pelo relevo, afetam especialmente o microclima. Os fluxos de ar podem ser desviados ou canalizados pelas ondulações da superfície terrestre. Existe uma grande variação das características pluviométricas entre as localidades situadas a barlavento e a sotavento das montanhas, isto porque a massa de ar que é descendente dificilmente origina precipitações, ao contrário das massas ascendentes (Romero, 1988).

Dependendo do relevo e das condições meteorológicas, alguns lugares estão mais sujeitos às condições de inversões térmicas. O relevo pode influir também no deslocamento das camadas atmosféricas (Mota, 2000).

Quanto ao relevo de um lugar, em termos de microclimas, são características importantes a considerar: latitude, altitude, declividade, a rugosidade e a orientação de cada superfície. Pequenas mudanças de elevação e de orientação podem produzir variações microclimáticas significativas, mesmo entre lugares próximos (Mascaró, 1988; Romero, 1988).

A altitude, de um modo geral, influencia as variáveis meteorológicas. Normalmente, com o aumento da altitude a temperatura diminui e a velocidade

do vento aumenta. Também a precipitação tende a aumentar com a altura, sendo que a maior parte dela não cai como chuva mas como neve (Mascaró, 1988).

As declividades influenciam a velocidade e a direção do vento e, conseqüentemente, as temperaturas. O ângulo de inclinação da encosta e a altura do sol determinam a quantidade de radiação solar que chegará até a superfície (Mascaró, 1988).

A quantidade de radiação que cada superfície recebe depende da orientação e da época do ano.

## **2.1.7. Fenômenos relacionados com a dispersão atmosférica**

### **2.1.7.1. Estratificação atmosférica**

A atmosfera terrestre apresenta uma estrutura vertical extremamente variável devido a inúmeros aspectos, sendo os principais a composição, a temperatura, a umidade e a pressão. Para melhorar o seu entendimento, a atmosfera foi dividida em várias camadas que apresentam características próprias, apesar de não serem homogêneas. Nessa divisão encontram-se quatro camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera, e, também, três regiões de transição: tropopausa, estratopausa e mesopausa.

Dentre as camadas, a troposfera é a mais relevante, por ser onde a maioria dos fenômenos com respeito à contaminação atmosférica ocorre. Ela é a camada que se encontra em contato com a superfície terrestre e atinge uma altura aproximada de 15-18 Km no equador e 6-8 Km nos pólos, sendo sua espessura variável com as estações do ano (Vianello e Alves, 1991).

### **2.1.7.2 Turbulência atmosférica**

A turbulência atmosférica é um fenômeno que ocorre quando os regimes de correntes de ar se tornam irregulares e aleatórios. Os movimentos turbulentos foram descobertos há aproximadamente 100 anos e ainda hoje não existe uma definição completa desse fenômeno.

Pode-se dizer que a turbulência ocorre quando o escoamento de um fluido apresenta as seguintes características: é altamente irregular e aleatório; possui alta capacidade difusiva; os campos de escoamento turbulento são rotacionais e sempre dissipam energia.

O fenômeno do escoamento turbulento do ar ajuda na dissipação dos contaminantes atmosféricos, principalmente por aumentar a capacidade de mistura do ar. Entretanto, a turbulência dificulta o entendimento do fenômeno físico e torna complexo o tratamento matemático da dispersão dos contaminantes.

### **2.1.7.3. Estabilidade atmosférica**

A estabilidade atmosférica pode ser representada por três condições usuais de trocas de calor entre a superfície terrestre e o ar. Quando ocorre uma transferência de calor da superfície terrestre para o ar, a atmosfera é chamada de instável. Quando ocorre uma transferência de calor do ar para a superfície terrestre, a atmosfera é chamada de estável. Quando não ocorrem trocas de calor entre a superfície terrestre e o ar, a atmosfera é chamada de neutra ou adiabática (Vazzoler Jr, 2000).

Na atmosfera neutra, quando um volume de ar é liberado, não há mistura por ação das forças ascensionais, pelo fato de essas forças não existirem. O volume de ar poderá sofrer influências de outros mecanismos de mistura ou estará em equilíbrio com o ar à sua volta. Na atmosfera instável o movimento vertical é favorecido pela ação de forças ascensionais; logo um volume de ar lançado na atmosfera irá se misturar com o ar à sua volta. A condição de instabilidade atmosférica é atingida tipicamente durante os dias com alta insolação. Na atmosfera estável, as forças ascensionais são opostas ao movimento vertical do volume de gás, fazendo com que o volume não se misture muito devido a essa atenuação do movimento vertical. A condição de estabilidade atmosférica é atingida tipicamente durante o período noturno (Vazzoler Jr, 2000).

As mudanças na direção e no módulo da velocidade do vento afetam quase que exclusivamente o movimento do ar na direção horizontal, enquanto

que as variações no transporte de calor influenciam quase exclusivamente os movimentos verticais do ar.

A dispersão dos poluentes na atmosfera é facilitada pela instabilidade atmosférica que causa a mistura desses poluentes com o ar, o que não ocorre quando a atmosfera está neutra ou estável pelo fato de estas proporcionarem um processo de mistura menos intenso.

A estabilidade ou instabilidade atmosférica provoca diversos efeitos, como por exemplo, o comportamento da pluma de fumaça de chaminés (fontes estacionárias). Em função dos perfis de temperatura vertical e do vento, a pluma pode apresentar uma das seguintes seis formas geométricas:

- pluma sinuosa: ocorre sob condição de grandes variações, apresentando velocidades que vão de moderadas a altas e em condições de mistura convectiva vertical do ar (Figura 5);



Figura 5 — Pluma sinuosa. (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)

- pluma em cone: ocorre sob condições de pequenas variações na temperatura (Figura 6);

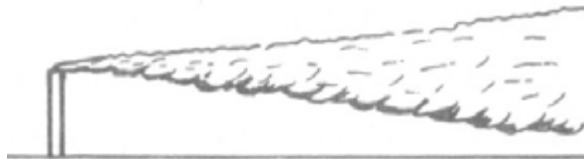


Figura 6 — Pluma em cone. (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)

- pluma em leque: ocorre sob condições de inversão térmica (Figura 7);



Figura 7 — Pluma em leque. (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)

- pluma ascendente: ocorre sob condições de inversão baixa próxima à superfície do solo e condições ligeiramente instáveis no alto (Figura 8);

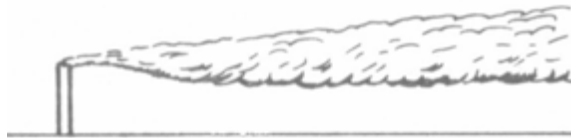


Figura 8 — Pluma ascendente (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)

- pluma tipo fumigação: ocorre geralmente após o nascer-do-sol, quando o aquecimento solar produz uma camada instável próximo ao solo (Figura 9);



Figura 9 — Pluma tipo fumigação. (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)

- pluma em armadilha: ocorre com uma situação de inversão, onde existe pouca variação da temperatura próxima ao solo, porém, já nas camadas altas existe uma inversão. Essa forma é considerada como uma das piores situações de poluição (Figura 10).

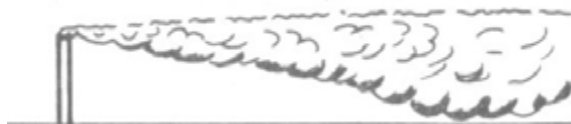


Figura 10 — Pluma em armadilha. (Fonte: adaptado de Ayoade, 1998)



#### **2.1.7.4. Inversões térmicas**

Normalmente, a temperatura do ar tende a decrescer com o aumento da altura, fazendo com que as camadas superiores sejam mais frias do que as inferiores. Esse fenômeno faz com que o ar se renove naturalmente. O ar mais quente é mais leve que o ar mais frio, portanto ele sobe enquanto o ar mais frio desce. Porém, em função de alguns fenômenos meteorológicos, ligados à velocidade do vento, à turbulência atmosférica, à insolação, ao gradiente de temperatura e à precipitação, essa situação pode se inverter e a temperatura aumentar ao invés de diminuir com a altitude. Nesse caso, o movimento do ar para cima é dificultado o que impede a dispersão vertical dos poluentes que tendem a se concentrarem na superfície terrestre, agravando a poluição (Mota, 2000).

Dependendo do relevo e das condições meteorológicas, alguns lugares estão mais sujeitos a condições de inversões térmicas. O relevo pode influir também no deslocamento das camadas atmosféricas (Mota, 2000).

#### **2.1.7.5. A rugosidade superficial**

A rugosidade da superfície terrestre representa os obstáculos naturais que dificultam a passagem do vento como, por exemplo, árvores, plantas rasteiras, casas e edifícios. A rugosidade terrestre influencia o movimento do ar nas camadas próximas à superfície terrestre, devido ao fato de o atrito do ar com a superfície diminuir a velocidade do vento (Lamberts *et al*, 1997).

A rugosidade superficial causa freqüentes flutuações no módulo e na direção de o velocidade do vento nas camadas mais baixas da atmosfera produzindo, assim, um transporte de quantidade de movimento de um volume de ar para outro.

## 2.2. Poluição atmosférica

A atmosfera pode ser descrita com uma camada fina de gases, sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa à Terra pela força da gravidade. Dos gases que a compõem, os mais importantes são: nitrogênio; oxigênio; argônio; dióxido de carbono; ozônio e o vapor d'água (Ayoade, 1998).

As atividades desenvolvidas pelo homem resultam no lançamento de gases e pequenas partículas na atmosfera, o que altera a qualidade do ar e provoca, portanto, a sua poluição.

Segundo Mouvier (1997), o termo poluição deve ser usado com muito critério, sendo considerados como poluentes as substâncias presentes em concentrações capazes de produzir efeitos mensuráveis e nocivos sobre o homem, os animais, as plantas ou os bens materiais.

Os poluentes, conforme a sua origem, podem ser classificados em poluentes primários — os emitidos diretamente na forma de poluentes — e poluentes secundários, formados na atmosfera por reações químicas ou mesmo fotoquímicas, como é o caso da formação de ozônio no *smog* fotoquímico (Mota, 2000).

As principais fontes de poluentes atmosféricos são as indústrias, incluindo as fábricas e outros processos, tais como a queima de combustíveis derivados do petróleo em fornos e caldeiras, os meios de transporte, compreendendo os veículos automotores de vários tipos e o tráfego aéreo, e outras fontes, como a incineração dos resíduos sólidos (Mota, 1981).

O nível de concentração que pode ser considerado poluição varia muito, de acordo com o composto considerado. Por exemplo, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), essencial para os seres vivos, está tendo sua concentração aumentada em 0,5% ao ano. Antes da Era Industrial sua concentração não passava de 280 ppmv (partes por milhão em volume); atualmente a concentração está em torno de 350 ppmv. Esse aumento contínuo e considerável é preocupante, pois apesar desse gás ser absolutamente necessário à vida, seu excesso contribui para o efeito estufa, sendo hoje, portanto, considerado um poluente (Mouvier, 1997).

Na atmosfera existem inúmeros contaminantes, alguns produzidos naturalmente através do tempo e outros gerados pelo homem. A classificação desses contaminantes atmosféricos pode ser feita a partir de dois critérios. O primeiro relacionado com a sua estabilidade química e o segundo ao grupo físico-químico a que pertence.

Quanto à estabilidade química, os contaminantes podem ser classificados em:

- contaminantes quimicamente instáveis: compostos que podem sofrer modificações em sua composição química depois de lançados na atmosfera; por exemplo, o dióxido de enxofre, que interage com o vapor d'água formando o ácido sulfúrico;
- contaminantes quimicamente estáveis: compostos que não sofrem alterações depois de lançados na atmosfera. Um exemplo é o dióxido de carbono.

Quanto ao grupo físico-químico, os contaminantes podem ser classificados em:

- compostos de enxofre: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e outros formados a partir do ânion sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>);
- compostos de nitrogênio: monóxido de nitrogênio (NO), amônia (NH<sub>3</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e outros formados a partir do ânion nitrato (NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>);
- monóxido de carbono: CO;
- dióxido de carbono: CO<sub>2</sub>;
- outros compostos de carbono: compostos formados com cátion C<sup>+2</sup> e C<sup>+4</sup>, hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas e ácidos;
- halogênios: ácido fluorídrico (HF) e ácido clorídrico (HCl);
- partículas de poeira em suspensão: partículas inaláveis e partículas totais em suspensão.

### 2.2.1. Compostos de enxofre

A poluição do ar por enxofre é um assunto extremamente interessante e complicado que merece atenção especial. O enxofre, em uma determinada concentração, além de ser inofensivo também é essencial à vida. Porém, em excesso todos os compostos gasosos de enxofre são tóxicos.

Os compostos de enxofre entram na atmosfera em grande parte por meio da atividade humana, principalmente na forma de  $\text{SO}_2$ . As principais fontes antropogênicas de emissão desse gás são a queima de combustíveis fósseis e as atividades industriais, tais como o refino do petróleo, a indústria de cimento e a metalurgia. Dentre as emissões naturais de  $\text{SO}_2$ , a atividade vulcânica é a principal fonte (Martins e Andrade, 2002). A combustão e decomposição de matéria orgânica também têm sido consideradas uma importante fonte de enxofre atmosférico. Quando emitidos, os compostos de enxofre permanecem por algum tempo na atmosfera e depois precipitam.

O gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), com seu característico cheiro de ovo podre, pode ser produzido por processos industriais e na deposição descuidada de resíduos orgânicos em aterros sanitários. Enquanto o homem pode detectar o cheiro, o perigo é pequeno, porém, diante de altas concentrações potencialmente letais, os sentidos olfativos perdem rapidamente sua acuidade e nenhum cheiro é percebido (Mellanby, 1982). No item 2.2.3, serão tratadas as questões relacionadas com o odor.

Depois de ser lançado na atmosfera, o  $\text{H}_2\text{S}$  se oxida rapidamente, formando, em poucas horas, o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Segundo Vazzoler Jr (2000), aproximadamente 80% do  $\text{H}_2\text{S}$  total emitido para a atmosfera é transformado em  $\text{SO}_2$ .

O dióxido de enxofre é um gás corrosivo produzido pelas atividades humanas e pela natureza. Suas fontes naturais incluem vulcões, deposição de matéria orgânica e vaporização do mar. As fontes antrópicas incluem a fundição de minérios não ferrosos e a combustão de derivados do petróleo e do carvão contendo enxofre (Corson, 1993).

O principal perigo apresentado pelo dióxido de enxofre, ou gás sulfuroso, é a reação química que, sob certas condições de umidade do ambiente, transforma o dióxido de enxofre em trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), o que origina o vapor de ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Esse vapor é muito perigoso pois causa o fenômeno conhecido como *smog*, termo proveniente do inglês: *smoke* — fumo e *fog* — nevoeiro (Senent, 1979).

O  $\text{SO}_3$  é encontrado na atmosfera principalmente na forma combinada, associado tanto com a água (névoa) quanto com partículas, podendo também ser encontrado na forma livre (gasosa). Sua origem é, normalmente, a oxidação do  $\text{SO}_2$  e, em escala menor, fontes antropogênicas (Vazzoler Jr, 2000).

Depois de gerado, o  $\text{SO}_3$  pode ser oxidado formando o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou transformado quimicamente em outros compostos, principalmente sulfatos, pela ação de hidrocarbonetos e ozônio (Vazzoler Jr, 2000).

O ácido sulfúrico é formado a partir da dissolução dos óxidos  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  em água. Esse composto é extremamente danoso para a saúde e para o meio ambiente, sendo responsável pelo fenômeno conhecido como chuva ácida.

## 2.2.2. Dispersão atmosférica dos poluentes

A concentração de um determinado poluente atmosférico, em uma área receptora, depende do tipo de fonte, da concentração com que o poluente foi lançado, bem como das condições de dispersão do mesmo na atmosfera. Os fatores que influenciam a dispersão de um poluente estão esquematizados na Figura 11.

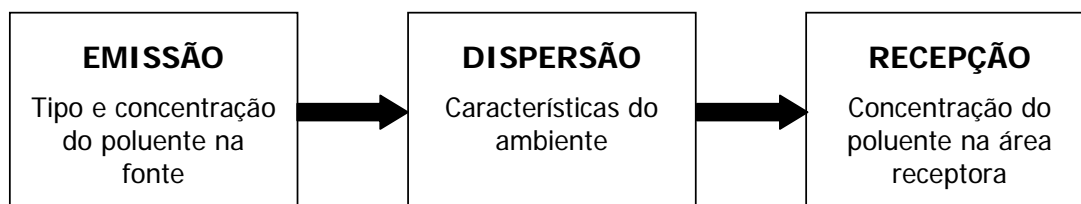


Figura 11 — Fatores que influenciam a dispersão de um poluente. (Fonte: adaptada de Mota, 2000)

Qualquer estudo para minimizar os efeitos de poluentes atmosféricos necessita do conhecimento dos componentes do sistema, esquematizado na Figura 11 e de suas interligações. O perfeito conhecimento desse sistema é extremamente difícil. O combate à contaminação atmosférica envolve uma variedade de conhecimentos interdisciplinares, em função de sua diversidade de fenômenos. Dentre esses podem-se citar fenômenos físicos, químicos, meteorológicos, fisiológicos, patológicos, sociais, políticos e ecológicos.

### 2.2.2.1. A meteorologia e a poluição atmosférica

A meteorologia é definida como a ciência que estuda a dinâmica da atmosfera e, principalmente, as variações no transporte de quantidade de movimento de vapor d'água e calor.

### 2.2.2.1.1. Classificação do problema de poluição atmosférica

Quando são estudados os fenômenos meteorológicos relacionados à poluição atmosférica, é comum o uso de categorias que identifiquem a magnitude do problema estudado. Uma forma é a divisão macroescala, mesoescala e microescala. A macroescala se refere aos fenômenos que ocorrem sobre milhares de quilômetros, por exemplo, zonas de alta e baixa pressão. A mesoescala define os fenômenos que ocorrem sobre centenas de quilômetros, por exemplo, as brisas marinhas. A microescala se refere aos fenômenos que ocorrem em distâncias inferiores a dez quilômetros como, por exemplo, a dispersão dos gases de uma chaminé. Outra forma de divisão é nas categorias local, urbana, regional, continental e global, (v. Quadro 1).

Quadro 1 — Categorias da poluição atmosférica

<b>Categorias</b>	<b>Escala vertical (altura relativa ao solo)</b>	<b>Escala de tempo</b>	<b>Domínio do problema</b>
Local	Menor que 100 m	Horas	Distrital a municipal
Urbana	Menor que 2 km	Dias	Municipal a estadual
Regional	Troposfera	Meses	Estadual a nacional
Continental	Estratosfera	Anos	Nacional a internacional
Global	Atmosfera	Décadas	Internacional

(Fonte: adaptado de Vazzoler Jr, 2000)

Geralmente o estudo da dispersão de contaminantes atmosféricos é realizado nos domínios local, urbano e regional (correspondente à microescala ou escala micrometeorológica), em razão de as concentrações dos contaminantes diminuírem com o aumento da distância entre o ponto de recepção e o ponto de emissão, reduzindo assim sua influência em escalas meteorológicas superiores.

### **2.2.2.1.2. As variáveis meteorológicas e a contaminação atmosférica**

As principais variáveis meteorológicas que têm influência na dispersão de poluentes são: velocidade e direção dos ventos; estabilidade atmosférica e relevo.

Relacionado com a dispersão da poluição na atmosfera, o vento, entre os diferentes parâmetros meteorológicos, é fator muito importante pois pode transportar os agentes contaminantes existentes ou gerados em uma determinada zona, dispersando-os longe de seu ponto de emissão (Senent,1979).

Quanto maior a velocidade do vento, maior a sua capacidade de diluir e dispersar poluentes, pelo aumento da turbulência. A direção e a velocidade do vento e a condições de relevo indicam as áreas que serão alcançadas pelos poluentes emitidos por uma fonte.

Por meio de alguns processos chamados de escoadouros, esses poluentes podem até desaparecer; por exemplo, podem ser absorvidos pelos vegetais, pela terra ou pelos oceanos ou transformados quimicamente em um outro composto (Mouvier, 1997).

Outros fatores meteorológicos também influenciam na poluição atmosférica. A radiação solar intervem na formação dos nitratos de peracilo e do *smog*. A umidade, na transformação do trióxido de enxofre em ácido. O conhecimento de todos estes fatores, em nível microclimatológico, é indispensável para o estudo dos níveis de poluição ambiental (Senent, 1979).

### **2.2.3. Odor**

#### **2.2.3.1. Caracterização**

O odor é percebido pelo cérebro humano como resposta às substâncias químicas presentes no ar, ou seja, é um dos efeitos que as substâncias químicas têm sobre as pessoas (Guyton e Hall, 1997).

A maioria dos odores é uma mistura de várias substâncias químicas que se interagem produzindo o que se conhece como odor. Considera-se ar isento de



odor o que não contém nenhuma substância química que sensibiliza o olfato humano e ar fresco o que não contém nenhuma substância química ou biológica que possa causar danos ao ser humano. O ar fresco pode conter odor, normalmente agradável, como o cheiro da grama ou da brisa do mar (New Zealand, 2002).

As diferentes experiências de cada indivíduo e a variação social e cultural da população podem resultar em distintas sensações e respostas para o mesmo odor. Como a sensação a um determinado odor é processada pelo cérebro, outros sentidos como a visão e o paladar, e até mesmo a educação, podem influenciar na percepção de odor, levando a um julgamento se o odor é aceitável ou censurável ou, até mesmo, ofensivo (New Zealand, 2002).

### **2.2.3.2. Sistema olfativo**

O ser humano toma conhecimento do ambiente e dos processos que se passam no interior do seu organismo por meio de órgãos dos sentidos especializados. Os órgãos sensoriais mais conhecidos são: o olho, o ouvido, a pele, a língua e o nariz. Cada um desses órgãos está adaptado para reagir a uma determinada gama de influências ambientais e para transmitir as respectivas informações ao sistema nervoso central. Um mesmo órgão sensorial transmite sensações cuja intensidade pode variar, mas cuja qualidade é mais ou menos idêntica. Um grupo de impressões sensoriais parecidas, transmitidas através de um determinado órgão, recebe o nome de sentido, ou em termo técnico, de modalidade (Ganong, 1993).

Dentre as diversas modalidades, pode-se distinguir o tipo de impressão, ou seja, a qualidade da mesma. Por exemplo, a visão compreende as qualidades luminosidade e cores; na audição são qualidades as alturas dos sons, e, na gustação são qualidades o sentido de doce, salgado, azedo e amargo. A modalidade olfato não possui critérios objetivos ou subjetivos que permitam uma definição clara das qualidades dos odores, porém eles podem ser classificados mediante comparações com odores primários como, por exemplo: floral (álcool betafeniletílico), etéreo (acetato de benzina), almiscarado (anéis cetônicos), canforado (cânfora), de suor (ácido butírico), fétido (sulfeto de hidrogênio) e

penetrante (ácido fórmico). Outra forma de se classificar os odores é compará-los a odores já conhecidos como o de alguns alimentos como o alho, o peixe e o repolho. O odor pode ser relacionado também com a sensação que ele causa, que pode ser, por exemplo, sufocante, picante ou irritante (Ganong, 1993).

O órgão olfativo é uma membrana localizada na parte superior de cada fossa nasal, chamada de membrana olfativa, também conhecida pelo nome de mucosa olfativa ou amarela. A membrana olfativa possui uma área de aproximadamente  $2,4 \text{ cm}^2$  (em cada cavidade nasal) que é constantemente recoberta por uma delgada camada de muco, na qual as substâncias odoríferas são dissolvidas para que possam alcançar a extremidade periférica das células receptoras olfativas. Os receptores excitados ativam diversos eventos moleculares que resultam em transmissão de impulsos que vão gerar a resposta para um determinado odor (Ganong, 1993; Guyton e Hall, 1997). Esse processo pode ser observado na Figura 12.

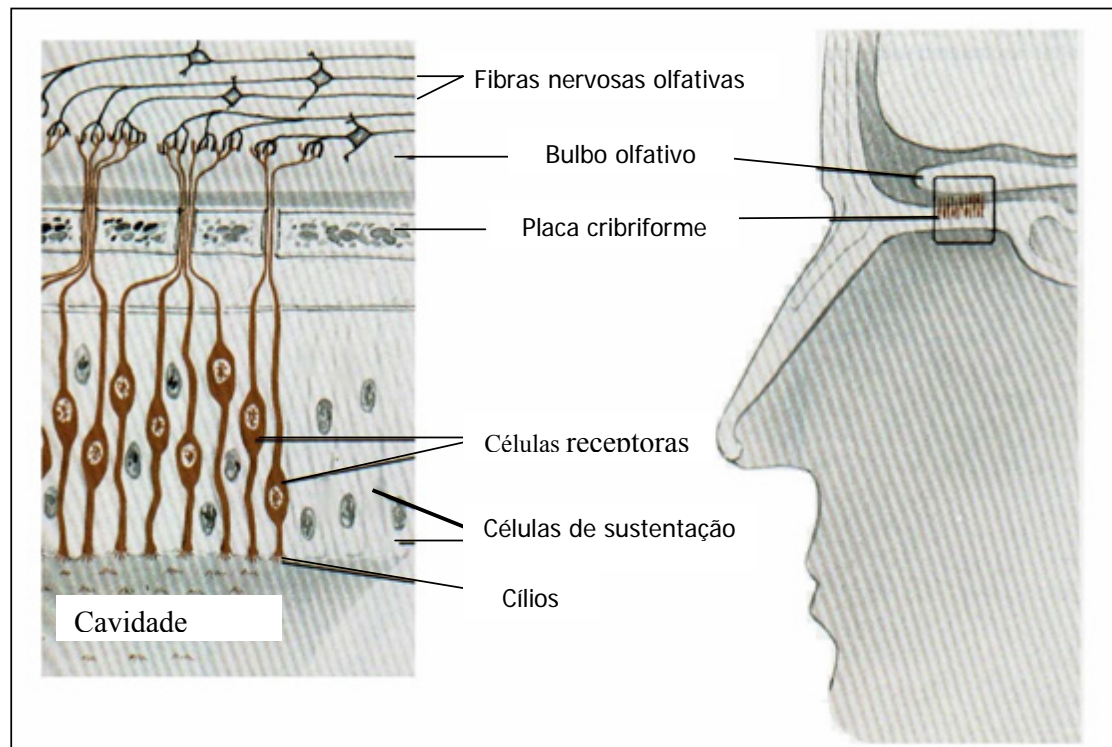


Figura 12 — Estrutura da membrana olfativa. (Fonte: adaptado de Hole, 1993)

A sensibilidade dos receptores olfativos para as substâncias odoríferas é bem superior à sensibilidade dos receptores gustativos. O sistema olfativo tem a sensibilidade modificada devido à alta velocidade de adaptação que é responsável pela perda da percepção de um odor logo após ele ter sido sentido e serve para a filtragem de estímulos sem novidade do fluxo de informação olfativa que é transmitida para as áreas superiores de processamento (Schauf *et al.*, 1993).

Dentre os sentidos do homem, o olfato é o menos compreendido. Isso ocorre devido principalmente a dois fatores: primeiro, o de o sentido do olfato ser um fenômeno subjetivo, o que dificulta o seu estudo em animais inferiores; segundo, o de o olfato humano ser pouco desenvolvido quando comparado ao de outros mamíferos (Guyton e Hall, 1997).

### **2.2.3.3. Efeitos do odor**

A principal preocupação com o odor é o incômodo que ele causa. O incômodo pode ocorrer quando um composto odorante se encontra presente no ar em concentrações muito baixas, geralmente bem inferiores às concentrações que poderiam causar efeitos adversos à saúde humana ou impactos ambientais.

Em concentrações altas, os compostos odorantes podem ser tóxicos ou causar irritação de pele, olho ou nariz. A exposição prolongada ou repetida a um tipo de odor pode causar mal-estar, mau humor e irritabilidade e fazer com que as pessoas expostas se tornem mais sensíveis a esse odor. Dentre os efeitos relatados pelas pessoas pode-se destacar: náusea, enxaqueca, vômito, redução do apetite, dificuldade de respirar, frustração, aborrecimento, depressão, tensão, lacrimejamento. Todos esses efeitos contribuem para a redução da qualidade de vida das pessoas que são expostas aos odores (New Zealand, 2002).

#### **2.2.3.4. Medidas de odor**

Quando se trata de medidas de odor, deve-se saber distinguir entre os termos odorante e odor. Odorante é um composto responsável pela exalação de um odor; odor é o efeito provocado por um ou vários compostos odorantes detectados e interpretados pelo sistema olfativo.

Os tipos de respostas que avaliam o odor dependem da propriedade sensorial particular medida. São propriedades a intensidade, o limiar de detecção, a característica e o nível de agradabilidade. A combinação delas é relacionada com a reação humana que pode ser causada pela percepção de um odor (ASCE e WEF, 1995).

A intensidade do odor é uma medida que define o grau de influência olfativa do odor e é relacionada com a concentração do odorante.

O limiar de detecção do odor é a mínima concentração de um odorante que produz uma resposta ou uma sensação olfativa. Esse limite é normalmente determinado por um número específico de pessoas expostas a gases odorantes, sendo o resultado expresso tipicamente quando 50% dessas pessoas conseguem detectar o odor.

Diante de concentrações baixas de substâncias odoríferas, as pessoas geralmente não são capazes de identificar o cheiro: percebem apenas a sua existência. O odor da substância somente é reconhecido em concentrações mais elevadas, quando então o odor pode ser identificado especificamente (Guyton e Hall, 1997).

A avaliação do odor em um ambiente pode ser realizada por meio de medidas analíticas (a detecção de compostos odorantes) e de medidas sensoriais (baseadas na resposta do sistema olfativo humano).

##### **2.2.3.4.1. Medidas analíticas**

Medidas analíticas enfocam a obtenção das concentrações dos compostos odorantes na fase gasosa. Essas medidas têm como vantagem a objetividade, a repetibilidade e a precisão. No entanto, possuem as seguintes desvantagens (Gostelow *et al.*, 2000):

- a maioria dos odores percebidos é composta por misturas complexas de dezenas de componentes, o que dificulta consideravelmente as análises;
- compostos odorantes podem estar presentes em pequenas concentrações e o limite de detecção analítica deve estar abaixo do limiar olfativo;
- é difícil relacionar medidas analíticas com a intensidade de odor sentida pelas pessoas, principalmente no caso de misturas onde as medidas não conseguem traduzir as interações entre diferentes compostos odorantes, podendo levar a efeitos sinérgicos ou antagônicos.

Em alguns casos, um composto odorante pode ser dominante e fornecer uma indicação de concentração global do odor. Este é o caso das emissões de odores de muitas estações de tratamento de esgoto, onde o composto H<sub>2</sub>S está presente em concentrações superiores às dos outros compostos odorantes. As medidas de H<sub>2</sub>S são muito comuns na avaliação de odor em estações de tratamento de esgoto e oferecem várias vantagens (Gostelow *et al.*, 2000):

- H<sub>2</sub>S é geralmente o composto odorante dominante em estações de tratamento de esgoto;
- mesmo quando não é o principal composto odorante, ele atua como um marcador para os odores de esgoto;
- as concentrações de H<sub>2</sub>S na fase gasosa podem ser relacionadas com medidas na fase líquida e modelos teóricos podem estimar a sua formação.

#### **2.2.3.4.2. Medidas sensórias**

As medidas sensórias são baseadas nas respostas do sistema olfativo humano. Essas medidas utilizam um grupo de pessoas que são expostas a um odor específico; esse grupo é denominado painel de monitores.

As técnicas de medidas sensórias podem ser divididas em duas categorias (Koe, 1989):

- medidas subjetivas: utilizam somente monitores, sem o auxílio de qualquer outro equipamento;
- medidas objetivas: incorporam ao painel de monitores algum aparato de diluição.

As medidas sensoriais de odor possuem a vantagem de poderem ser obtidas rapidamente e a custos relativamente baixos pois não necessitam de equipamentos especiais. Entretanto, a interpretação dos resultados é difícil e deve ser feita com bastante cuidado devido às variações inerentes na percepção do odor, que ocorrem mesmo quando os monitores são bem treinados (Koe, 1989).

Essas medidas não fornecem muita informação sobre a composição do odor e apresentam baixa repetibilidade. Os parâmetros que podem ser medidos são: característica do odor, nível de agradabilidade e intensidade do odor.

As medidas objetivas sensoriais de odor utilizam o senso olfativo juntamente com um instrumento que dilui a amostra de ar odorante com amostras de ar sem odor. Esse instrumento é conhecido como olfatômetro. O objetivo dessas medidas é determinar a concentração do odor. A técnica mais comum é a determinação do limiar olfativo onde a amostra do composto odorante é diluída sucessivamente e apresentada a um painel de monitores. A concentração é expressa pelo número de diluições exigidas para alcançar a concentração de limiar.

Uma outra técnica utilizada é a comparação da intensidade da amostra de odor com uma amostra de referência, cuja concentração é conhecida. O resultado é expresso como uma concentração equivalente ao gás de referência.

A diluição pode ser estática ou dinâmica. Na diluição estática são misturados volumes fixos da amostra do gás odorífero com um gás sem odor, enquanto na diluição dinâmica são misturados fluxos conhecidos de ambos os gases. A diluição dinâmica é mais aceita do que a estática, pois minimiza a adsorção da amostra pelas superfícies internas do instrumento.

#### **2.2.3.5. Legislação brasileira relacionada a odor**

A legislação federal brasileira, por meio da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente — CONAMA 03/90, estabelece padrões de qualidade do ar para poluentes convencionais como os materiais particulados, o dióxido de enxofre e o monóxido de carbono. Porém, com relação ao lançamento de compostos odorantes na atmosfera ou a incidência de odores em comunidades

do entorno de fontes de emissão, não existe nenhum padrão estabelecido. Entretanto, a Política Nacional do Meio Ambiente considera como poluição todas as atividades que direta ou indiretamente prejudiquem o bem-estar da população. Dessa forma, quando é necessário estabelecer padrões para mensurar o odor, deve-se buscar o entendimento entre as partes interessadas ou utilizar regulamentações de outros países.

Para o funcionamento de indústrias de celulose *Kraft*, em cada estado há um órgão que emite um documento, a licença de operação, que define as condições que devem ser observadas. No Estado do Espírito Santo, o órgão ambiental determina os valores das emissões aéreas de SO<sub>2</sub> e de compostos de enxofre total reduzido (TRS) para as caldeiras de recuperação e para o forno de cal. Esses valores são: 100 ppm de SO<sub>2</sub> e 2 ppm de TRS para as caldeiras de recuperação e 6 ppm para o forno de cal. É obrigatória também a coleta e queima de gases concentrados e diluídos da evaporação e dos digestores.

Para atender essas prescrições, as indústrias precisam instalar equipamentos para reduzir a concentração dos gases.

## **2.2.4. Odor em indústrias de celulose Kraft**

### **2.2.4.1. Geração de odor no processo fabril**

Um dos principais problemas na produção de celulose *Kraft* é a emissão de compostos mal cheirosos. O odor característico se deve à presença de enxofre nas reações de deslignificação da madeira. Nesse processo, utiliza-se o hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) em uma solução aquosa para auxiliar na separação das fibras de celulose e hemicelulose dos outros componentes da madeira. Segundo Wimberry (1985), devido à utilização de produtos a base de enxofre, ocorrem reações secundárias com alguns compostos orgânicos presentes na madeira, dando origem a particulados e materiais organossulfurados gasosos com odor característico de ovo podre. Esses compostos são denominados compostos de Enxofre Total Reduzido (TRS)

e são representados pelo gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metil mercaptana ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), dimetil sulfeto [ $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ] e dimetil dissulfeto [ $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ ].

A geração de compostos reduzidos de enxofre varia de acordo com a quantidade e o tipo da lignina presente na madeira. Isso porque, na fragmentação da lignina, existem reações de adição de enxofre aos fragmentos da lignina, produzindo compostos organossulfurados. Alguns desses compostos possuem baixo peso molecular e são voláteis. Outros possuem alto peso molecular e permanecem no licor negro. Porém, na evaporação ou na queima desse licor, podem-se gerar compostos voláteis, que se perdem com os gases residuais. Dessa forma, existem inúmeras possibilidades para a geração de gases odoríficos em fábricas de celulose *Kraft*, que precisam ser bem conhecidas, monitoradas e aperfeiçoadas para prevenir esse tipo de poluição, independentemente da matéria-prima e do processo utilizado para a produção de celulose (Foelkel, 1977).

Nas fábricas de celulose *Kraft*, os compostos voláteis odoríferos são coletados em duas linhas distintas: (i) gases concentrados e de baixo volume gerados nos digestores e evaporadores e, (ii) gases diluídos de alto volume, coletados em uma variedade de pontos na linha de fibras e na linha de recuperação de licor. O controle de odores na fábrica depende da capacidade de se coletar esses gases. Normalmente os gases concentrados e diluídos são coletados separadamente. Os gases são normalmente enviados para serem queimados nas caldeiras, nos fornos de cal ou para alguma unidade incineradora projetada para esse objetivo. Os compostos são, então, transformados em dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) (Hynninen, 1998).

A incineração é um processo de oxidação térmica que utiliza combustível auxiliar para transformar determinados gases poluentes em substâncias menos ofensivas e tóxicas (Yamagata, 2000)

As principais fontes emissoras de compostos reduzidos de enxofre em uma indústria de celulose *Kraft* são: os evaporadores, o digestor, a caldeira de recuperação, o forno de cal e o tanque de dissolução dos fundidos (*smelt*) (Hynninen, 1998). No entanto, existem alguns pontos em que a coleta dos gases



diluídos torna-se tecnicamente inviável. Dentre os pontos de difícil controle, encontram-se as estações de tratamento de efluentes.

#### **2.2.4.2. Geração de odor nas estações de tratamento de efluentes**

Os principais processos, operações e sistemas de tratamento de efluentes de fábricas de celulose encontram-se divididos em três níveis em função do poluente a ser removido: tratamento preliminar, primário, secundário.

Numa fábrica de celulose, o objetivo do tratamento preliminar é o de remover os sólidos grosseiros, enquanto no tratamento primário, o objetivo é retirar os sólidos em suspensão. Em ambos os tratamentos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. No tratamento secundário predominam os mecanismos biológicos e o objetivo principal é a remoção da matéria orgânica dissolvida e coloidal. Nas estações de tratamento de efluentes (ETEs), os odores podem ser gerados em função dos processos adotados e das condições operacionais empregadas.

Em fábricas de celulose, os dois processos biológicos de tratamento são as lagoas aeradas e os lodos ativados. As lagoas aeradas mecanicamente evoluíram da necessidade de melhorar o funcionamento das lagoas de estabilização que estavam sobrecarregadas, diferenciando-se apenas porque as lagoas aeradas possuem equipamentos de aeração cuja principal finalidade é introduzir oxigênio à massa líquida (Mendonça, 1990; Braile, 1993). Existem três tipos de lagoas aeradas, as facultativas, as de mistura completa e as com aeração prolongada. A lagoa é denominada facultativa quando o nível de energia introduzido pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação.

Nas indústrias de celulose do Brasil, as lagoas aeradas facultativas são as mais utilizadas para o tratamento de seus efluentes uma vez que sua eficiência atende às necessidades dessas indústrias. As principais funções das lagoas aeradas facultativas são:

- reação biológica: transformar a matéria orgânica dissolvida e coloidal presente no efluente em células e gases;

- decantação dos sólidos: sedimentação por gravidade dos flocos biológicos nas zonas de baixa velocidade e mistura;
- digestão dos sólidos no fundo da lagoa, geralmente através de mecanismos anaeróbicos.

As duas últimas funções das lagoas aeradas facultativas são muito importantes, uma vez que o acúmulo de lodo nestas lagoas é significativo e a sua remoção deve ser prevista em projeto (aproximadamente após 10 anos de operação). Essa limpeza se faz necessária devido a dois fatores primordiais: i) o lodo mineralizado ocupa um espaço que pode se tornar significativo, reduzindo o tempo de residência hidráulica, reduzindo, desta forma a eficiência do processo; ii) o lodo gera uma demanda de oxigênio importante para a sua decomposição, reduzindo a disponibilidade de oxigênio para o meio.

A aeração é uma operação de fundamental importância para a maioria dos processos aeróbios de tratamento de águas residuárias. Pelo fato de o oxigênio ser um gás que não se dissolve facilmente no meio líquido, vários sistemas de tratamento de efluentes necessitam acelerar o processo natural (Von Sperling, 1996). A finalidade de se introduzir ar no meio líquido a ser tratado é fornecer uma quantidade de oxigênio suficiente para que haja a depuração desse líquido através da oxidação biológica da matéria orgânica (Mendonça, 1990).

Os odores surgem principalmente da degradação biológica da matéria orgânica e são particularmente associados à atividade anaeróbia microbiana (Von Sperling, 1996). Em efluentes industriais, sobretudo de fábricas de celulose Kraft, ocorrem odores que são atribuídos a compostos odoríferos que são descartados nestes líquidos, como os compostos reduzidos de enxofre.

Como uma das principais funções das lagoas aeradas facultativas é a digestão do lodo depositado no seu fundo (camada bêntica), essa digestão, na ausência de oxigênio dissolvido é realizada anaerobicamente.

No processo de conversão orgânica, quando não existe oxigênio dissolvido na água, há a necessidade de se utilizar aceptores de elétrons inorgânicos como  $\text{NO}_3^-$  (redução de nitrato),  $\text{SO}_4^{2-}$  (redução de sulfato), ou  $\text{CO}_2$  (formação de metano).

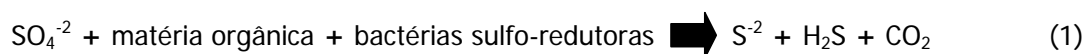
Na ausência dos aceptores de energia mais altos, como o oxigênio e o íon nitrato, grupos específicos de bactérias (sulfo-redutoras) são capazes de utilizar o sulfato como aceptor de elétron terminal para a obtenção de energia. Essas reduções podem, rapidamente, gerar grandes quantidades de compostos sulfurosos, incluindo o gás sulfídrico (ASCE e WEF, 1995).

As bactérias sulfo-redutoras são estritamente anaeróbias e são consideradas um grupo muito versátil de microrganismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos (Visser, 1995).

Na digestão anaeróbia, grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. Dessa forma, na presença de sulfato, as bactérias sulfo-redutoras passam a competir pelos substratos disponíveis com as bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas gerando dois produtos finais: metano (através da metanogênese) e sulfeto (através da redução do sulfato).

A intensidade dessa competição está relacionada principalmente ao pH e à relação DQO/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> da água residuária (Chernicharo, 1997).

A formação de H<sub>2</sub>S a partir da redução de sulfato é mostrada nas Equações 1 e 2.



A Equação 1 mostra a reação de redução anaeróbia de sulfato realizada por bactérias sulfo-redutoras. A Equação 2 mostra a formação de H<sub>2</sub>S em meio ácido.

A produção de sulfetos pode gerar sérios problemas; por exemplo, parte do sulfeto de hidrogênio produzido passa para a fase gasosa, o que pode causar problemas de corrosão e de mau cheiro (Visser, 1995).

A maioria dos compostos odoríferos é encontrada no estado gasoso quando em condições normais de temperatura e pressão. Os pesos moleculares dessas substâncias variam de 30 a 150. Tipicamente, os compostos de menor peso molecular possuem maior potencial de emissão para a atmosfera. As substâncias de alto peso molecular são pouco voláteis e causam menos reclamações de odor. Outro fator importante para se determinar o incômodo de uma substância odorífica é o limiar olfativo. Por exemplo, compostos sulfurados tais como sulfetos orgânicos, gás sulfídrico e mercaptanas tendem a ser mais odorantes, pois seus limiares olfativos são relativamente baixos (ASCE e WEF, 1995).

O Quadro 2 apresenta os principais compostos que são gerados em estações de tratamento de efluentes.

Quadro 2 — Compostos odorantes em águas residuárias

Compostos	Fórmula	Peso molecular	Volatilidade ppm (v/v) (t=25°C)	Limiar olfativo ppm (v/v)	Descrição do odor
Acetaldeido	CH <sub>3</sub> CHO	44	GÁS	0,067	Adocicado
Alil mercaptana	CH <sub>2</sub> :CHCH <sub>2</sub> SH	74	-	0,0001	Alho
Amônia	NH <sub>3</sub>	17	GÁS	17	Picante, irritante
Amil mercaptana	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> SH	104	-	0,0003	Podre
Benzil mercaptana	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (CH <sub>2</sub> )SH	124	-	0,0002	Desagradável
n-butil amina	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> )SH <sub>2</sub>	73	93000	0,08	Azedo, irritante
Cloro	Cl <sub>2</sub>	71	GÁS	0,08	sufocante
Dibutil amina	(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub> NH	129	8000	0,016	Peixe
Diisopropil amina	(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> NH	101	-	0,13	Peixe
Dimetil amina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	45	GÁS	0,34	Peixe podre
Dimetil sulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	62	830000	0,001	Repolho podre
Difenil sulfeto	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> S	186	100	0,0001	Desagradável
Etil amina	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	45	GÁS	0,27	Amoniacal
Etil mercaptana	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	62	710000	0,0003	Repolho podre
Gás sulfídrico	H <sub>2</sub> S	34	GÁS	0,0005	Ovo podre
Indole	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH) <sub>2</sub> NH	117	360	0,0001	Fecal
Metil amina	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31	GÁS	4,7	Peixe podre
Metil mercaptana	CH <sub>3</sub> SH	-	GÁS	0,0005	Repolho podre
Ozônio	O <sub>3</sub>	48	GÁS	0,5	Picante, irritante
Fenil mercaptana	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SH	110	2000	0,0003	Podre, alho
Propil mercaptana	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> SH	76	220000	0,0005	Desagradável
Piridina	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	79	27000	0,66	Picante, irritante
Escatole	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	131	200	0,001	Fecal
Dióxido de enxofre	SO <sub>2</sub>	64	GÁS	2,7	Picante, irritante
Thiocresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SH	124	-	0,0001	Gambá
Trimetil amina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	59	GÁS	0,0004	Picante, peixe

Fonte: adaptado de ASCE e WEF, 1995.)

## **2.3. Vegetação**

Quando se trabalha com vegetação, deve-se considerar que vegetais são seres vivos que crescem e se desenvolvem com o passar do tempo, criando e recriando espaços a cada nova estação. As árvores demoram a crescer e tomar forma, enquanto os arbustos e forrações crescem e tomam forma mais rápido, podendo dar um caráter preliminar ao espaço, criando condições mínimas de ocupação. Há algumas espécies de árvores que demoram dezenas de anos para chegar à fase adulta como, por exemplo, a figueira (*Ficus benjamin*) que leva cerca de 30 anos para atingir seu porte máximo (Macedo, 1992).

Esses fatos devem ser considerados e, se for o caso, o projeto deve ser pensado em etapas ou momentos diversos de maturação até que as diversas espécies escolhidas estejam aptas a desempenharem as funções para as quais são selecionadas.

A escolha certa da espécie vegetal, de acordo com Baêta e Sousa (1997), é um aspecto relevante no planejamento de barreiras de ventos. Essa deve possuir características necessárias às funções de barreiras, como resistência ao vento, flexibilidade, perenidade das folhas e sistema radicular pouco competitivo.

### **2.3.1. Classificação da vegetação**

#### **2.3.1.1. Porte**

As plantas arbóreas são as mais fáceis de se identificar; elas possuem porte considerável e clareza de sua estrutura formada por caule único e copa bem definida. Em função do tipo de crescimento, a árvore poderá ter uma forma acentuadamente vertical, marcado por um único tronco, lançando apenas ramos laterais, sendo essa estrutura chamada de monoaxial. A árvore pode também apresentar uma forma mais distribuída, resultante de outros tipos de estruturas onde o caule se subdivide uma ou mais vezes. Essa estrutura é chamada de poliaxial (Pinheiro e Almeida, 2000).

As árvores se caracterizam basicamente pela forma de suas copas que, quando associadas entre si, oferecem múltiplas possibilidades na criação de ambientes (Brandão e Brandão, 1992).

Os arbustos se diferenciam das árvores, principalmente pelo caule que, apesar de também serem lenhosos, apresentam ramificações rentes ao solo. Os arbustos possuem o porte bem menor que o das árvores, mas são semelhantes a elas na resistência e no período de vida bastante longo. Alguns são semelhantes a árvores pequenas, outros são finos e pontiagudos, outros possuem folhagens de cores diversas, outros são muito altos. Existem também arbustos que permitem ser modelados em várias formas e podem ser usados para a formação de cercas-vivas, maciços ou cortinas vegetais.

As trepadeiras são plantas lenhosas que necessitam de algum suporte ou tutor para se desenvolverem. O crescimento desse tipo de vegetação é rápido e direcionado sempre em busca de luz. Caracterizam-se pelo polimorfismo, isto é, podem adquirir várias formas, dependendo da sua condução. Nesse sentido, podem ser induzidas para se comportarem como árvores, arbustos, ou até mesmo como forração quando espalhadas sobre o solo (Lira Filho *et al.*, 2002).

As plantas herbáceas possuem consistência tenra e porte pequeno, podendo ser divididas em duas categorias: herbáceas e forrações. Na primeira categoria estão as plantas de consistência tenra que se formam em um ramo principal com desenvolvimento mais vertical. As forrações se diferem das herbáceas por não apresentarem um ramo principal definido; elas tendem a se espalhar ocupando todo o solo (Lira Filho *et al.*, 2002).

### **2.3.1.2. Forma da copa**

As árvores na concepção de projetos paisagísticos podem ser associadas a alguns tipos de volumes, esse são caracterizados basicamente pela forma de suas copas (Macedo, 1982), Ver Figura 13.

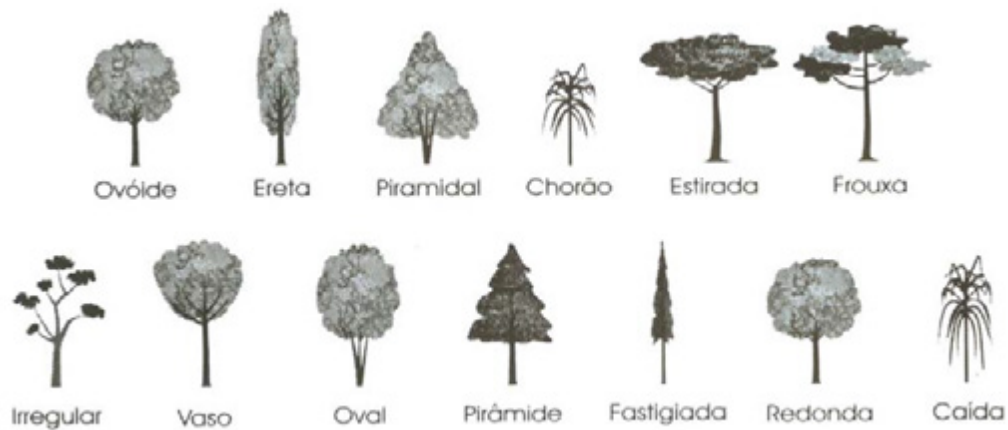


Figura 13 - Formas das copas das árvores. Fonte: (Lira Filho *et al.*, 2002).

As árvores podem, de acordo com as diversas formas de suas copas, serem associadas entre si, oferecendo múltiplas possibilidades na criação de ambientes (Macedo, 1982).

### 2.3.1.3. Forma e superfície das folhas

As folhas apresentam diversas formas que são usadas para o reconhecimento das árvores. Essas formas são definidas em função de uma figura idealizada, existindo diversos tipos como acicular, linear, lanceolada, elíptica, ovada e palmada (Marchiori, 1995).

As folhas podem possuir pilosidade variada ou serem desprovidas de pêlos. As folhas que apresentam ausência de pêlos são denominadas glabas. Folhas com essa característica possuem a superfície lisa e brilhante. Mesmo sendo glabas, algumas folhas podem apresentar textura áspera, em decorrência de uma nervação saliente ou impressa (Pinheiro e Almeida, 2000).

A pilosidade pode ser identificada pelo tato, pois confere à folha uma textura que varia de aveludado até a aspereza de uma lixa. Em certas espécies, a pilosidade concentra-se em áreas localizadas, como a axila das nervuras secundárias.



#### **2.3.1.4. Odor**

Existem árvores que podem ser identificadas pelo cheiro exalado pelas folhas, quando esmagadas, pelo caule e pelas flores. Esse cheiro pode ser agradável ou não dependendo da espécie.

Em alguns casos, o odor exalado pelas árvores facilita a sua identificação por ser característico da espécie como o cheiro da pitangueira (*Eugenia uniflora*), do pessegueiro-do-mato (*Prunus sellowii*), da canforeira (*Cinnamomum camphora*) e do pinho (*Araucaria angustifolia*) (Marchiori, 1995).

#### **2.3.2. Vegetação e elementos climáticos**

A vegetação age sobre os elementos climáticos, em microclimas urbanos, contribuindo no controle da radiação solar, temperatura e umidade do ar, na amenização da ação dos ventos e da chuva e na redução da poluição do ar (Roberts, 1980; Mascaró, 1996).

A forma como a vegetação atua com os elementos climáticos depende de suas características como o tipo, o porte, a idade e o período do ano. Outra característica importante é a forma de associação entre as espécies vegetais e, também, sua interação com o ambiente em que serão inseridas (Mascaró, 1996).

##### **2.3.2.1. Vegetação e radiação solar**

A vegetação é um importante elemento na transformação da radiação solar. Quando a radiação incide sobre as folhas, uma parte é absorvida, outra é transmitida e o restante é refletido (ver Figura 14). A reflexão da radiação solar depende da morfologia e das características físicas das plantas. A radiação solar será transmitida de acordo com a transparência, cor e espessura das folhas, com a distribuição e o adensamento dos troncos e ramos e também de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares (Grey e Deneke, 1992).

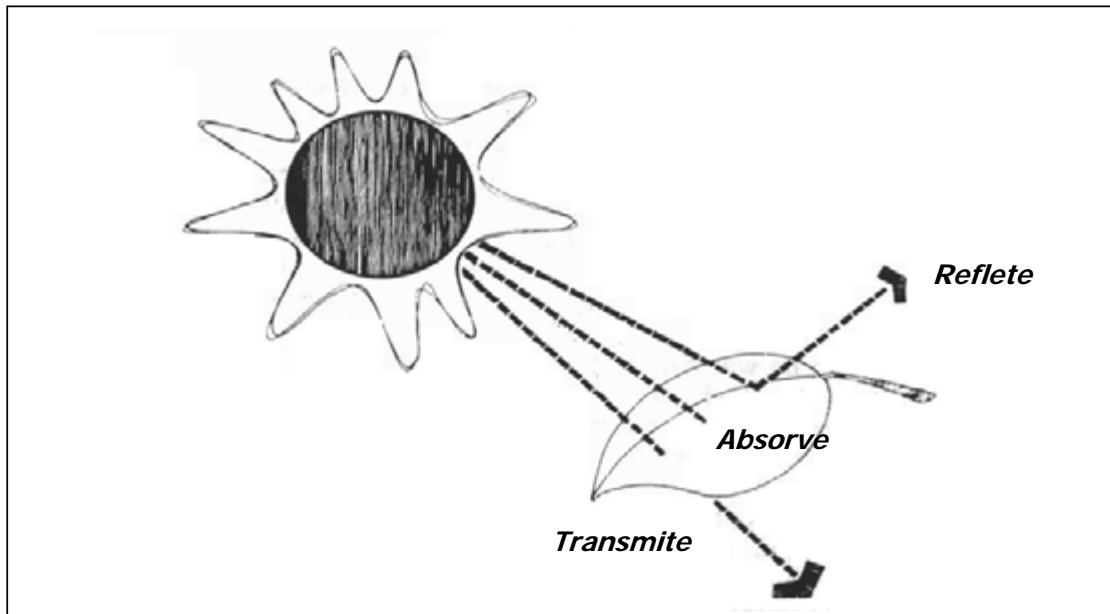


Figura 14 — Controle da radiação solar por meio das plantas. (Fonte: Grey e Deneke, 1992)

A vegetação pode obstruir total ou parcialmente a passagem de radiação solar direta incidente. Ocorre a obstrução total quando a planta bloqueia a radiação direta, e a obstrução parcial quando parte da radiação direta consegue transpor a planta. A interação desses efeitos, ligados às características de cada espécie determina a influência da vegetação nas características climáticas de um determinado ambiente (Mascaró, 1996).

### **2.3.2.2. Vegetação e temperatura do ar**

A modificação da temperatura do ar de determinado local em função da vegetação existente está relacionada com o controle da radiação solar, do vento e da umidade do ar. A implantação de vegetação em áreas expostas à radiação solar pode reduzir de 3 a 4°C a temperatura do ar. Essa redução pode ser maior se for feita uma composição de grupamentos arbóreos constituídos por espécies de diferentes portes pois as várias camadas de copa ampliam a absorção de radiação solar e a estratificação da temperatura do ar sob a vegetação (Mascaró, 1996). A variação de temperatura sob a vegetação, em diferentes composições, está relacionada no Quadro 3.

Quadro 3 — Variações de temperaturas observadas em sombra sob vegetação.

<b>Redução de temperatura sob vegetação (°C)</b>				
<b>Composições</b>	<b>Estações do ano</b>			
	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>
Árvores isoladas	-	3,7 a 1,3	-	8,0 a 1,0
Grupamento heterogêneo	-	4,4	3,6 a 2,8	5,0
Grupamento homogêneo	3,7 a 3,2	4,7	3,1	5,1

Fonte: Mascaró, 1996

O controle da radiação solar que se obtém em função da forma e do porte, normalmente repercute, sob a vegetação, numa menor variação da temperatura do ar e num aumento da umidade do ar, ou seja, a associação traduz-se numa redução da amplitude térmica.

### **2.3.2.3. Vegetação e umidade do ar**

A umidade do ar é alterada pela vegetação em função da evapotranspiração. O efeito evaporativo depende do albedo, da morfologia, da rugosidade e da resistência articular da superfície foliar. Em campo aberto, a umidade relativa do ar aumenta de 3% a 10% com a presença de vegetação, verificando-se as maiores diferenças no verão, pois este efeito é proporcional à densidade foliar da vegetação. Os menores valores são registrados na primavera devido à ação dos ventos e à existência de vazios nas copas - período de floração (Mascaró, 1996). O Quadro 4 apresenta os acréscimos de umidade relativa sob a vegetação em diferentes composições.

Quadro 4 — Variações sazonais médias de umidade relativa observadas para meio urbano em sombra sob vegetação.

<b>Acréscimos de umidade relativa do ar sob vegetação (%)</b>				
<b>Composições</b>	<b>Estações do ano</b>			
	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>
Árvores isoladas	-	11	-	6
Grupamento heterogêneos	-	5	11	17
Grupamento homogêneos	10	14	8	11

Fonte: Mascaró, 1996

A emissão de vapor d'água por transpiração ocorre quando existe a disponibilidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera e de umidade no solo e no interior da planta, o que é proporcional à estrutura e densidade da vegetação. A estrutura da planta modifica a ação da precipitação da chuva, o que altera a quantidade de umidade que chega ao solo (Grey e Deneke, 1992).

### **2.3.3. Métodos de controle do odor com uso de vegetação**

A vegetação absorve do meio substâncias líquidas, sólidas e gasosas, sendo algumas delas transformadas, imobilizadas e liberadas ao meio. Diferentes substâncias podem entrar na circulação das plantas e entre essas podem estar alguns poluentes atmosféricos, inclusive os compostos odorantes (Roberts, 1980).

A retenção das partículas do ar pelas plantas pode ocorrer por meio de filtragem efetiva, que consiste nos processos de deposição, adsorção ativa e absorção pela e sobre a superfície foliar. O efeito de obstáculo/barreira desempenhado pela copa das árvores também reduz as possibilidades de o material particulado depositado ser novamente carregado pelo vento (Firkowski, 1990).

Algumas espécies, como as coníferas, são capazes de oxidar poluentes gasosos sem apresentarem sinais de danos, quando as concentrações são baixas ou sub-letais. A remoção de gases tóxicos da atmosfera pelas plantas pode

ocorrer quando estes, agregados nas partículas de poeira, são retidos temporariamente junto com o material particulado (Roberts, 1980).

A capacidade de filtragem da vegetação aumenta proporcionalmente ao número de folhas de cobertura por área ocupada. A contaminação do ar pode ser reduzida com a implantação de barreiras de vegetação, efeito que pode ser conseguido com árvores plantadas ao longo de uma avenida (Romero, 2001).

A vegetação pode ser implantada de forma a que atenda a determinados condicionantes, que visam a reduzir os compostos odoríferos presentes na atmosfera, dentre os quais destacam-se:

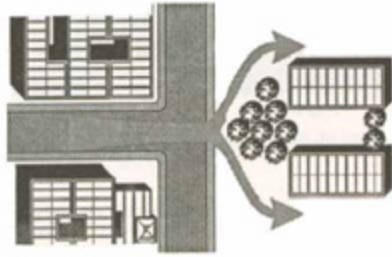
- diluição das concentrações de gases odoríferos na atmosfera mais baixa;
- deposição de particulados e outros aerossóis mediante redução da velocidade do vento;
- interceptação física dos particulados e de outros aerossóis;
- remoção dos componentes químicos odorantes do ar.

#### **2.3.3.1. Vegetação como barreira à propagação de gases odoríferos para regiões habitadas**

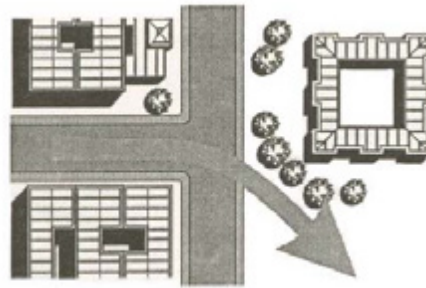
A vegetação pode ser usada como barreira para controlar as ações do vento, impedindo assim que ele transporte compostos odoríferos até regiões habitadas.

As barreiras possuem quatro efeitos básicos: obstrução, deflexão, filtragem e condução. A obstrução bloqueia o fluxo de ar. A deflexão desvia a direção do fluxo de ar. A filtragem reduz a velocidade do vento através da permeabilidade da barreira. A condução direciona o fluxo do ar e modifica sua velocidade (Mascaró, 1996). Esses efeitos estão ilustrados na Figura 15.

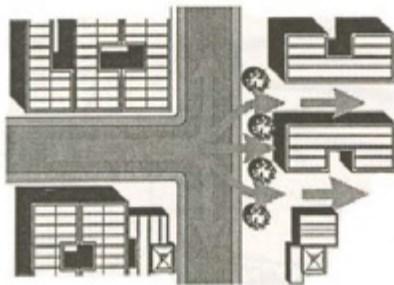
Obstrução



Deflexão



Filtragem



Condução

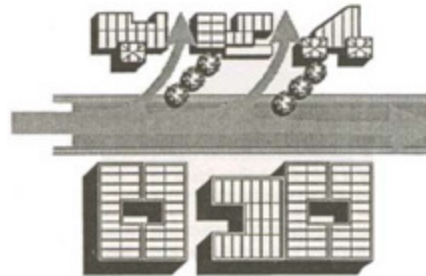


Figura 15 — Efeitos básicos de barreiras vegetais. (Fonte: Mascaró, 1996)

É possível melhorar os efeitos das barreiras vegetais integrando a elas elementos rígidos, permeáveis ou opacos ou usando a própria topografia acidentada do terreno.

### **2.3.3.2. Vegetação para diluir concentrações de gases odoríferos na interface solo-atmosfera**

As condições que levam à interceptação de contaminantes na atmosfera são bem conhecidas. Inversões de temperatura podem restringir a mistura do ar na atmosfera mais baixa. Quando ocorrem inversões atmosféricas, a temperatura normal da estrutura atmosférica é invertida, isto é, a temperatura aumenta com a altura ao invés de diminuir, o que resulta em camadas atmosféricas estáveis que afetam características significantes da extensão e dos efeitos da pluma de odor (AEPA, 1997). A baixa velocidade do vento e a falta de aspectos físicos da paisagem que gerem turbulência são outros aspectos que podem contribuir para que os contaminantes fiquem retidos na atmosfera.

Quando ocorre uma redução da turbulência em função da diminuição da velocidade, a diluição de odores também será menor. O problema do odor tende a ser mais severo em condições estáveis, como por exemplo, durante a noite, quando a velocidade do vento encontra-se entre moderada e baixa, e os odores emitidos próximos à superfície não são elevados, viajando em um fluxo laminar próximo ao terreno (AEPA, 1997).

Cinturões verdes são obstáculos para o vento, forçando o fluxo de ar para cima. McNaughton (1988) relata que ao ser desviado sobre o obstáculo, o fluxo de ar é redirecionado, comprimido e a sua velocidade aumentada. Na Figura 16 pode-se observar que a zona que é afetada acima do cinturão verde possui alturas de  $1,5 H$  a  $1,7 H$  (isto é, 1,5 a 1,7 vezes a altura da barreira). Essa zona se alarga, segue o fluxo de ar a sotavento e funciona como uma fonte de energia cinética turbulenta. Em estudos que modelam a dinâmica na região situada após uma cerca com quebra-vento artificial, nota-se que uma zona calma se estende do topo da barreira até uma distância de cerca de  $8 H$  da barreira. Fora dessa zona, as flutuações turbulentas longitudinais são mais enérgicas e em escalas maiores (McNaughton, 1988). A diluição da pluma de odor será tanto maior quanto maior for a altura do cinturão verde. A porosidade assume particular importância (em termos de turbulência), quando as porosidades do cinturão (abaixo de 40%) são associadas com a maior quantidade de transferência de energia turbulenta (ver Figura 16).



Figura 16 — Representação esquemática da turbulência e das zonas com a capacidade de diluição de odor. (Fonte: adaptado de McNaughton, 1988)

A dispersão é usada como uma estratégia de controle que envolve, para as emissões não alcançarem regiões povoadas, a utilização da mistura turbulenta natural da atmosfera mais baixa para reduzir a níveis aceitáveis as concentrações emitidas por uma fonte de odor.

#### **2.3.3.3. Vegetação como redutora de velocidade do vento e retentora de particulados e aerossóis**

A aerodinâmica para os sistemas de cinturões verdes ainda é pouco conhecida. Porém, tem-se progredido muito no estudo do transporte turbulento do ar acima, ao redor e entre as estruturas de quebra-ventos, como também tem-se quantificado as alterações na velocidade do vento (Wang e Takle, 1995). A turbulência do ar e a redução da velocidade do vento criam situações em que o vento carrega partículas que podem ser depositadas em distâncias a sotavento muito menores que em situações onde não existe nenhuma barreira.

Estudos sobre o uso de cinturões verdes, e outras barreiras de vento para controlar emissões de particulados concluíram que barreiras físicas podem absorver energia do vento e reduzir a sua velocidade próximo à superfície, diminuindo assim a fuga de particulados emitidos na atmosfera (Farmer, 1993).

Os quebra-ventos artificiais estão sendo atualmente utilizados para reduzir o movimento do ar, causando a deposição de partículas odoríferas e também a elevação do ar, o que ajuda no processo de diluição. Essa tecnologia de redução de odor tem sido bastante usada com sucesso em Taiwan, onde barreiras feitas de plásticos, tecidos e resíduos de plantas foram colocadas a barlavento dos galpões, em granjas de aves em mais de duzentas propriedades rurais (Bottcher *et al.*, 2000).

Atualmente existem pesquisas buscando quantificar a redução de partículas a barlavento de uma determinada barreira, relacionando também a redução na detecção do odor. Liu *et al.*, citados por Bottcher *et al.* (2000), simularam numericamente os efeitos de barreiras altas ao redor de lagoas anaeróbias de estabilização de resíduos sólidos animais em instalações rurais e estimou reduções, a barlavento da lagoa, de 26% a 92% das emissões malcheirosas, para uma razão distância/altura de 0,6 a 8.



A dificuldade em se determinar a eficiência de quebra-ventos artificiais ou de cinturões verdes para o controle de odor foi observada por vários pesquisadores. Essa dificuldade se deve principalmente a três fatores. O primeiro é a dificuldade inerente em medir, no campo, todas as direções de vento. O segundo é a dificuldade em isolar a fonte de odor. O terceiro envolve a dificuldade de se determinar a camada limite atmosférica e os efeitos turbulentos decorrentes da interposição de obstáculos porosos na trajetória do vento (Wang e Takle, 1995).

Ainda não existem dados de campo indicadores de quanto um cinturão verde pode reduzir a dispersão do odor através da deposição de partículas. Porém, esses efeitos têm sido modelados usando túneis de vento, um recurso técnico muito comum para estudo do movimento de partículas na atmosfera.

#### **2.3.3.4. Uso da vegetação para a interceptação física de particulados e outros aerossóis**

Quando o ar se movimenta através das superfícies da vegetação, as folhas e outras partes aéreas removem certa quantidade das partículas, dos gases e dos microrganismos que normalmente são carregados pelo vento. A área total de superfície foliar das plantas é muito grande, freqüentemente excedendo em 20 vezes a área da superfície do solo que as contém, o que favorece a interceptação de particulados e outros aerossóis (Smith, 1984).

Já se sabe que árvores e arbustos são muito eficientes para bloquear a poeira de estradas. Farmer (1993), revisando a literatura relativa aos efeitos de particulados na vegetação, relata vários estudos que quantificaram a capacidade de árvores e arbustos em interceptar os particulados do ar. Entre esses estudos está o trabalho de Steubing e Klee, citado por Farmer (1993), que analisou o *Pinus mugo* ao longo das margens das estradas em Frankfurt, Alemanha e obteve a capacidade de retenção de até 0,18 mg de partículas por cm<sup>2</sup> de superfície foliar.

Uma utilização de cinturões verdes tem sido usada, especificamente, para interceptar pesticidas presentes no ar. Todavia, a efetividade desse uso ainda não foi adequadamente quantificado. Smith (1984) afirma que parte da

efetividade se deve à aspereza da superfície da folha, porém, sendo sua eficiência limitada a partículas com diâmetros iguais ou menores que 5 µm.

### **2.3.3.5. Uso da vegetação para a remoção dos componentes químicos odorantes do ar**

Não se conhece muito sobre a habilidade de árvores e de outras plantas na redução do odor por absorção de substâncias químicas odoríferas, porém, existem evidências indiretas que isto seja possível.

Os aerossóis e as substâncias químicas presentes na atmosfera podem entrar em contato com as plantas de três maneiras: pela precipitação da chuva, pela deposição seca e pela deposição de vapor d'água contendo substâncias químicas.

Pesquisas sobre a remoção de substâncias químicas do ar pela ação da chuva, e a subsequente interceptação dessas substâncias pelas plantas, constataram que a quantidade de nutrientes que entra na planta varia em função da precipitação de chuva. Essa quantidade pode ser significativa dependendo da fonte e do nível de emissão das substâncias químicas atmosféricas. A deposição de substâncias químicas do ar ocorre por meio da difusão de aerossol ou de gás em direção às folhas e à estrutura da planta. Os contaminantes atmosféricos, na forma de gases, também interagem com vegetação podendo entrar na planta via influxo gasoso (Smith, 1984).

Quando os contaminantes (substâncias químicas, gases e partículas), entram em contato com as plantas, tipicamente, podem acontecer três situações. Na primeira, as partículas e as substâncias químicas simplesmente batem na planta e retornam para a atmosfera ou param na planta e depois retornam para a atmosfera ou se fixam no solo. Na segunda, os gases apenas passam pela vegetação. Na terceira, as substâncias químicas se fixam na superfície da planta podendo, também, passar para dentro dela (Grey e Deneke, 1992).

As substâncias químicas podem entrar na planta de três maneiras: por difusão gasosa através da abertura dos estômatos; pelos estômatos na forma dissolvida (no caso das substâncias químicas solúveis); ou, podem ser

absorvidas e adsorvidas pelos tecidos da planta. A taxa de transferência de contaminante depende de uma série de fatores. Depois da concentração dos contaminantes e o tempo de exposição, a resistência dos estômatos é o fator mais importante para se determinar a absorção de contaminantes pelas plantas (Farmer, 1993).

A difusão pela abertura dos estômatos é considerada a rota de menor resistência. Entretanto, ela depende da camada-limite da superfície da planta (camada de ar perfeitamente calma que fica em volta de todas as superfícies da planta) e do gradiente de concentração entre o ambiente aéreo e as superfícies absorventes do interior das plantas. A capacidade de difusão e a solubilidade dos contaminantes são os principais fatores que afetam a taxa de penetração nas camadas-limites. Depois que um contaminante ultrapassa a camada-limite e passa a ter contato com a superfície da folha, existem duas formas de ele passar para dentro da planta: absorvido por meio de difusão passiva através dos estômatos (se solúvel, geralmente o contaminante entrará em solução) ou adsorvido através dos tecidos (Sabijic *et al.*, 1990).

Smith (1994) descreve algumas características relativas à interceptação e/ou à absorção de contaminantes pelas plantas, sendo as mais importantes:

- as taxas de absorção das plantas aumentam quando a solubilidade em água do contaminante aumenta;
- a taxa de remoção de contaminante pode aumentar, quando as superfícies da planta estão molhadas. Chifre e Vedt, citados por Smith (1994), usando túneis de vento, observaram que as árvores com folhas molhadas acumularam 100 vezes mais enxofre de aerossol do que as árvores secas e também que determinadas coníferas eram coletores de aerossol melhores que árvores decíduas;
- a umidade acentuada e pouca radiação solar limitam a abertura dos estômatos e pode dificultar significativamente a absorção dos contaminantes;
- embora alguns contaminantes (por exemplo, dióxidos de nitrogênio e enxofre) possam ser removidos pela respiração noturna, as taxas de absorção são reduzidas consideravelmente à noite;

- a taxa de absorção dos contaminantes, em condições de campo, é altamente variável em função das numerosas forças e condições existentes;
- a taxa de remoção de contaminantes pode aumentar linearmente com o aumento da concentração dos contaminantes.

Outras formas de evidência indireta da capacidade das plantas em removerem poluentes atmosféricos estão nos estudos que investigaram a acumulação de vários compostos orgânicos nas plantas e em seus tecidos. Algumas pesquisas indicam que plantas como líquens e musgos podem ser usadas como bioindicadores em locais de emissão de poluição (Gaggi *et al.*, citados por SDACD, 2001).

Ainda não se conhecem completamente os processos de absorção e adsorção, porém existem publicações que tentam identificar e quantificar diferentes caminhos e modelar o processo (Sabijic *et al.*, 1990; Schreiber e Schonherr, 1992; Welke *et al.*, 1998).

Outro potencial para remoção da poluição do ar está nos microrganismos que coexistem nas superfícies da planta. As superfícies da planta, dependendo de fatores como a espécie da planta, a umidade, a estação do ano, a idade das folhas e a saúde, são normalmente cobertas com microrganismos de todos os tipos, como várias formas de fungos, bactérias e leveduras. Schreiber e Schonherr (1992) determinaram que microrganismos freqüentemente influenciam e afetam a quantificação da absorção de substâncias químicas pela folhagem

Ainda não existem estudos que quantifiquem a absorção de plantas para as substâncias químicas odoríferas originadas da produção de celulose, mas as evidências acima demonstram que a utilização de plantas na remoção de substâncias odoríferas do ar poderá ser um caminho para a redução dos problemas com odores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização e localização do objeto de estudo

O presente estudo foi realizado na estação de tratamento de efluentes de uma fábrica de celulose Kraft branqueada, da empresa Aracruz Celulose S.A., localizada em Barra do Riacho, Aracruz – Espírito Santo.

Mostra-se na Figura 17 a localização do objeto de estudo.

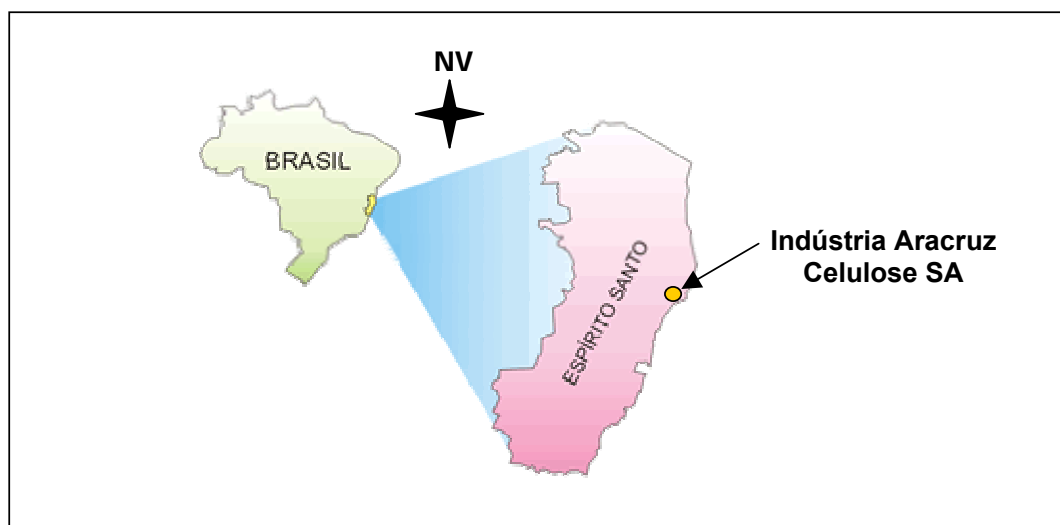


Figura 17 – Posição geográfica do objeto de estudo.

### **3.1.1. O Estado do Espírito Santo**

O Estado do Espírito Santo localiza-se na Região Sudeste do Brasil e ocupa uma área de 45.597 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,53% do território nacional. Suas fronteiras se estendem por 1.337 km, dos quais 921 km correspondem à linha divisória com os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia, e 416 km com o Oceano Atlântico. A distância entre os pontos extremos norte-sul é de 381,6 km e, entre os pontos extremos leste-oeste, 280,1 km (IBGE, 1997).

O clima predominante é o tropical, quente úmido no litoral e temperado na zona serrana, com temperatura média anual de 24°C. Os solos predominantes no Estado possuem fertilidade variando de média a baixa e o pH em torno de 5,0 (DEE, 1994).

O relevo caracteriza-se como montanhoso, observando-se altitudes que vão desde o nível do mar até acima de 2.000 m. O ponto culminante do Estado é o Pico da Bandeira, com 2.897 m, situado no Município de Ibitirama, na divisa com o Estado de Minas Gerais. A fisiografia estadual é caracterizada por três faixas longitudinais: a zona serrana (cerca de 77% da superfície capixaba), a zona dos tabuleiros, central, com altitudes abaixo da cota de 200 m, e a zona das baixadas litorâneas (faixa costeira) (DEE, 1994).

As bacias que compõem a paisagem hidrográfica são as dos rios Jucu, Guarapari, Novo, Benevente, Itapemirim, Doce, São Mateus, Itaúnas, Riacho, Reis Magos e Santa Maria da Vitória (SEBRAE, s.d.).

O Estado apresenta um setor secundário diversificado, contando com empresas de expressiva participação na indústria nacional, como: Companhia Vale do Rio Doce - CVRD; Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST; Aracruz Celulose; Xerox do Brasil; Chocolates Garoto; Braspérola; Samarco Mineração (DEE, 1994).

### **3.1.2. O Município de Aracruz**

O Município de Aracruz, no Estado do Espírito Santo, abrange uma área de 1.415 km<sup>2</sup>, comportando uma população de aproximadamente 64.637 habitantes (IBGE, 2000). Possui altitude média de 50m e a sua sede as

seguintes coordenadas geográficas: longitude de 40° 07' 20" W e latitude de 19° 52' 80" S (IBGE, 1997).

Politicamente, o município possui cinco distritos: Vila do Riacho, Guaraná, Jacupemba, Santa Cruz e Sede. A precipitação média é de 1.200 mm/ano (Incaper, 2000).

Os solos predominantes possuem fertilidade variando entre média e baixa com terrenos relativamente ácidos. Possui 86,94% de suas áreas com declividade abaixo de 30% (Incaper, 2000).

### **3.1.3. A indústria Aracruz Celulose S.A.**

#### **3.1.3.1. Histórico**

A indústria Aracruz Celulose, fundada em abril de 1972, é a maior produtora mundial de celulose branqueada de eucalipto, comercializada principalmente na Europa, na América do Norte e na Ásia. Suas operações florestais abrangem 180.000 hectares de plantios próprios de eucalipto nos Estados do Espírito Santo e Bahia, intercalados com 97.000 ha de reservas nativas de propriedade da empresa e, também, outros 37.000 hectares de plantios de eucalipto dentro do Programa de Fomento Florestal, desenvolvido em parceria com produtores rurais locais (ARCEL, 2002).

A Aracruz opera a maior unidade de produção de celulose de eucalipto do mundo, totalmente integrada aos plantios e a um porto privado especializado, Portocel, pelo o qual mais de 90% da produção da empresa é exportada (INCAPER, 2000).

A fábrica possui três unidades de produção com capacidade total de aproximadamente 2 milhões de toneladas anuais de celulose. O complexo industrial é constituído por três caldeiras de recuperação, três digestores contínuos, cinco linhas de branqueamento e secagem e instalações para recuperação de produtos químicos, tratamento de água e geração de energia elétrica a partir de biomassa. O controle ambiental é feito por meio de sistemas de tratamento das emissões aéreas, dos efluentes líquidos e dos resíduos sólidos (ARCEL, 2002).

### 3.1.3.2. Descrição do processo industrial

O processo de fabricação de celulose se inicia com a preparação da madeira, por meio das etapas de descascamento, picagem e peneiramento.

Na segunda fase, os cavacos são enviados para os digestores, que são vasos pressurizados, onde são tratados com licor de cozimento (solução aquosa de NaOH + Na<sub>2</sub>S), a pressão e temperaturas estabelecidas, tendo como resultado uma pasta.

O licor de cozimento, licor branco forte (NaOH + Na<sub>2</sub>S), é uma solução aquosa que possui o ponto de ebulição próximo de 100°C à pressão atmosférica, sendo, portanto, necessário elevar a pressão para atingir temperaturas próximas de 170°C, exigidas pelo processo. O enxofre entra na composição do licor com a finalidade de aumentar a velocidade de difusão do licor no cavaco e proteger as fibras durante o cozimento.

Após o cozimento, a polpa é lavada para remover as impurezas solúveis e levada para a torre de estocagem, onde é estocada a uma consistência de cerca de 10%.

Em uma outra etapa, chamada depuração, são removidas as impurezas sólidas da polpa, como nós, palitos e outros materiais (areia, pedras, etc.). A lavagem da polpa remove grande parte do licor preto da massa. O residual da lignina é removido no pré-branqueamento com oxigênio e nos estágios subsequentes de branqueamento.

Os principais objetivos do branqueamento são branquear e limpar a polpa mediante remoção de substâncias que absorvem luz. Procura-se realizar esta etapa com mínimo dano químico e mecânico da fibra, com mínima perda de rendimento, com mínimo custo e com mínimo impacto ambiental.

A Aracruz possui diferentes seqüências de branqueamento e os principais insumos químicos utilizados são: Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>, NaOH, O<sub>2</sub>, NaClO, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>. Depois de branqueada, a polpa ainda passa por outro processo de depuração, que consiste em remover as impurezas da pasta branqueada. Depois de limpa, a celulose é seca e transformada em folhas de celulose que são enfardadas e encaminhadas à estocagem. Posteriormente os fardos serão enviados ao porto para serem exportados.



### **3.1.3.3. Descrição da estação de tratamento de efluentes (ETE)**

Os efluentes gerados pela Aracruz são divididos em três grupos: efluente alcalino com fibras, efluente ácido sem fibras e efluente alcalino sem fibras. Esses efluentes são provenientes de várias fontes:

- efluente alcalino com fibras: estágios alcalinos do branqueamento, secagem, depuração de celulose branqueada, cozimento, lavagem e depuração da polpa marrom;
- efluente ácido sem fibras: planta química, desmineralização, evaporação e caustificação e branqueamento;
- efluente alcalino sem fibras: caldeiras, pátio de madeira e esgoto sanitário.

A ETE é composta por uma unidade de gradeamento, um sistema de decantação primária e desaguamento de lodo primário, e por um sistema de tratamento secundário biológico composto por cinco lagoas aeradas facultativas em série, seguida por uma lagoa de decantação. O efluente final tratado é lançado no mar através de um emissário submarino distante 1,7 km da costa.

O tratamento primário é composto por três decantadores e visa a remover os sólidos sedimentáveis carregados com o efluente, antes de enviá-lo para o tratamento biológico.

As principais características das lagoas aeradas e de decantação são apresentadas no Quadro 5. No Anexo 1, é apresentada uma planta baixa das lagoas.

Quadro 5 — Principais características das lagoas aeradas e de decantação

<b>Lagoa</b>	<b>Volume útil de projeto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Número de aeradores</b>	<b>Potência dos aeradores (KW)</b>
<b>1</b>	210.000	12	30
<b>2</b>	215.000	17	30
<b>3</b>	220.000	26	30
<b>4</b>	210.000	18	30
<b>5</b>	195.000	12	30
<b>6</b>	170.000	-	-

A Aracruz possui ainda uma lagoa de emergência com volume aproximado de 100.000 m<sup>3</sup>, utilizada eventualmente para desviar os efluentes industriais quando os mesmos possuírem qualidade inadequada ao tratamento biológico. Os efluentes encaminhados para a lagoa de emergência são recalcados para a primeira lagoa aerada através de 2 conjuntos moto-bombas com capacidade nominal de 650 m<sup>3</sup>/h cada.

Após passar pela lagoa de estabilização, o efluente é encaminhado, através de um canal, para a câmara de interligação que o envia para os emissários terrestres, sendo finalmente descarregados no oceano através dos emissários submarinos.

### 3.1.3.4. Localização das comunidades próximas da indústria

A Figura 18 apresenta a localização das comunidades que estão mais próximas às lagoas.

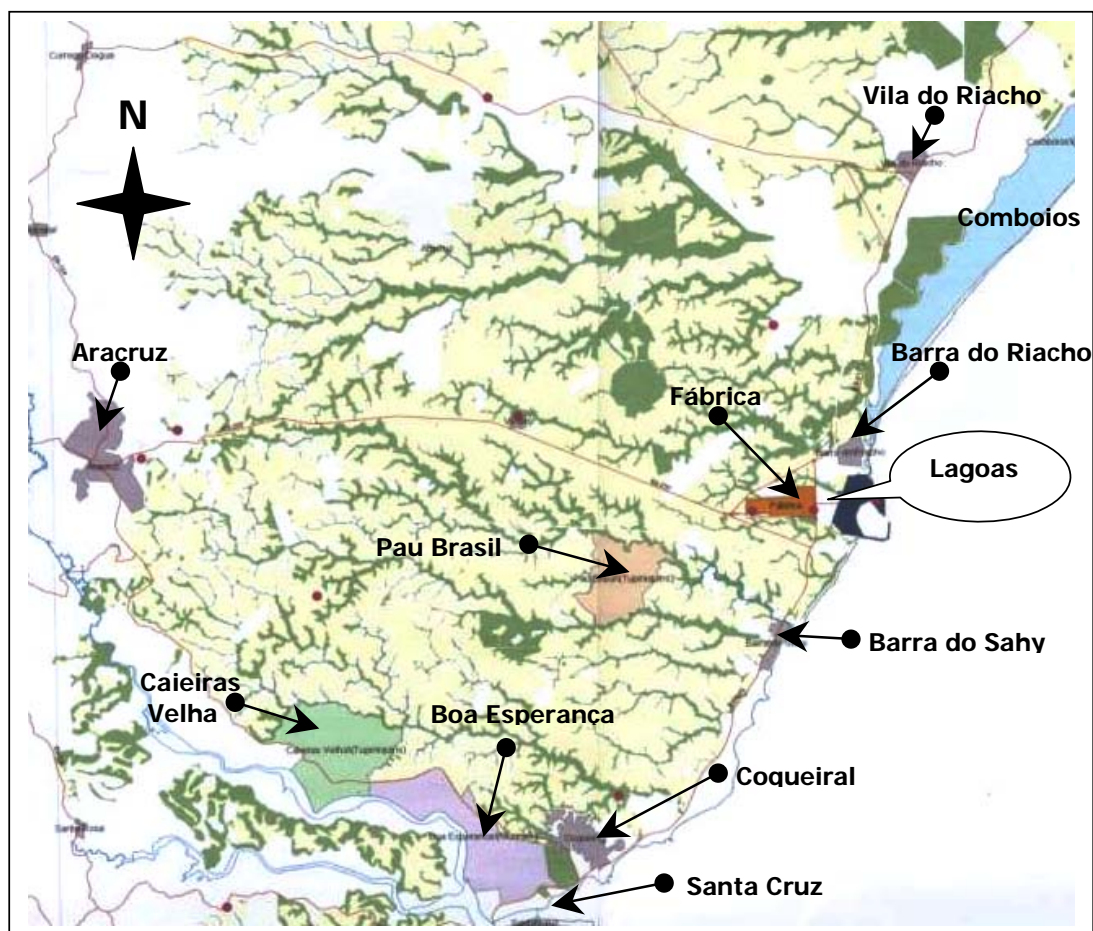


Figura 18 — Localização das comunidades mais próximas das lagoas, Aracruz Celulosa S/A, Barra do Riacho, Espírito Santo.

## 3.2. Metodologia

### 3.2.1. Diagnóstico da estação de tratamento de efluente (ETE) estudada

Foi estabelecido um programa de monitoramento da ETE-Aracruz que pode ser visualizado no Quadro 6 e na Figura 19.

Quadro 6 — Programa de monitoramento da ETE

Pontos	Parâmetros			
	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	pH
1	X			
2		X	X	X
3		X	X	X
4		X	X	X
5		X	X	X
6		X	X	X
7		X	X	X
8	X			

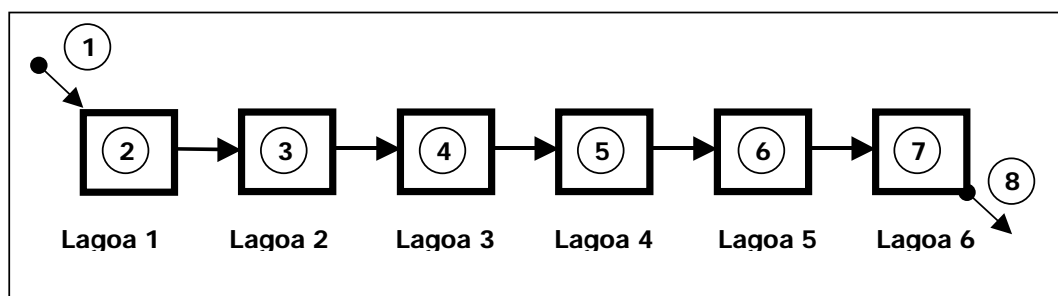


Figura 19 — Pontos de amostragem do monitoramento

As coletas e análises foram efetuadas no período de 15/08 a 09/09/2003.

Foram realizadas análises de temperatura, oxigênio dissolvido e pH, nos pontos de 2 a 7, no interior das lagoas. As lagoas aeradas e a lagoa de decantação foram divididas em três seções. Em cada seção foram feitas três medições: margem esquerda, centro e margem direita. As análises foram efetuadas em duas profundidades distintas (20 cm e 150 cm) da superfície.

As medidas de vazão foram realizadas nos pontos 1 e 8, que correspondem à entrada da Lagoa 1 e à saída da Lagoa 6.

Os procedimentos para as análises seguiram as normas preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* e foram efetuadas nos laboratórios da Aracruz.

### 3.2.2. Caracterização climática da área estudada

O levantamento das condições climáticas foi feito a partir dos dados coletados pela estação meteorológica da Aracruz, denominada de “Estação Fábrica”, localizada próxima às lagoas, a 10 m de altura (ver Figura 20).



Figura 20 — Localização da estação meteorológica, Aracruz Celulose S/A, Barra do Riacho, Espírito Santo.

### **3.2.2.1. Obtenção dos dados**

Os principais dados climáticos utilizados nesta pesquisa foram registrados na referida estação meteorológica, no período de 1996 a 2002. Dentre eles destacam-se a direção e a velocidade dos ventos, coletados com equipamentos aferidos, seguindo procedimentos oficiais padronizados para essa finalidade.

### **3.2.2.2. Análise dos dados**

Para analisar os dados climáticos, principalmente a direção dos ventos, recorreu-se ao uso de planilhas, nas quais os dados foram organizados por dia e hora. Nas planilhas, as direções do vento foram diferenciadas com o uso de cores; as células da planilha relacionadas a uma mesma direção do vento possuíam a mesma cor. Isso permitiu perceber visualmente o comportamento da direção do vento durante os meses do ano, como também, durante as horas do dia.

Para analisar a velocidade do vento, o procedimento preliminar foi semelhante ao da direção.

### **3.2.3. Estudos para a composição das barreiras vegetais**

#### **3.2.3.1. Seleção do tipo de barreira**

Faz-se a seleção do tipo de barreira em função do efeito que se esperava de cada uma. Elas foram separadas em barreira para conduzir (filtro), barreira para bloquear, barreira para desviar e barreira para diluir as correntes de ar que contêm os compostos odoríferos.

#### **3.2.3.2. Características das espécies vegetais para a composição das barreiras**

A escolha das espécies que devem ser implantadas é uma tarefa que exige conhecimento aprofundado do problema, o tipo de poluente e a sua concentração, o comportamento climático da região e, naturalmente, a

velocidade da resposta requerida. Visando a atender a esses aspectos, as espécies vegetais a serem escolhidas devem atender às seguintes premissas:

- serem resistentes aos poluentes aos quais são expostas;
- apresentarem alguma característica que auxilie na minimização dos efeitos odoríferos dos poluentes;
- não interferirem na biota das região;
- adaptarem-se à região;
- possuírem características geométricas de acordo com a necessidade de cada barreira.

## **4.RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Diagnóstico da ETE estudada**

#### **4.1.1. Vazão e temperatura**

A vazão total geral dos efluentes situa-se, na média, em torno de 196.000 m<sup>3</sup>/d.

A Aracruz possui lagoas aeradas em série e o resfriamento dos efluentes ocorre ao longo delas, como se mostra na Figura 21. Observa-se, como esperado, que há uma queda de temperatura, sobretudo nas duas primeiras lagoas.



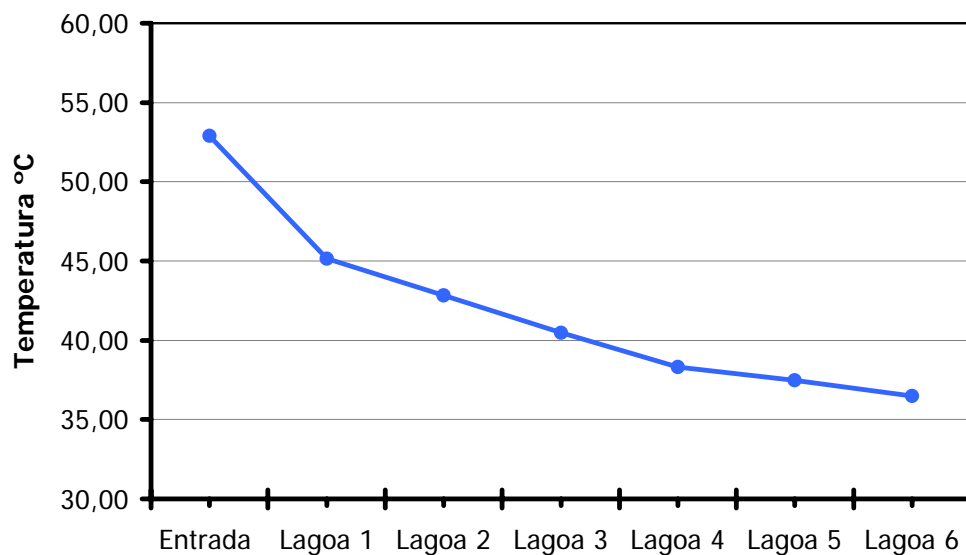


Figura 21 — Perfil de temperatura média ao longo das lagoas

Conforme pode ser visualizado na Figura 21, a temperatura de entrada da primeira lagoa aerada está acima de 50°C, chegando a valores de 55°C. É importante salientar que o tratamento biológico da Aracruz é essencialmente mesofílico, ou seja, foi projetado para ser operado nas condições de temperaturas mesofílicas (20-40°C). É reconhecido que a temperatura mesofílica ideal de operação de sistemas de tratamento biológico está situada na faixa de 35°C, e que o aumento da temperatura, a partir desse patamar, reduz a taxa de crescimento microbiológico. Estudos efetuados mostram que a níveis de 55°C prevalecem as bactérias termotolerantes, que são capazes de degradar a matéria orgânica, embora com uma menor eficiência quando comparadas às bactérias mesofílicas (Tripathi, 1999).

As fábricas que possuem lagoas aeradas facultativas, com altos períodos de detenção hidráulica, como é o caso da Aracruz, não costumam resfriar previamente os seus efluentes uma vez que já no início do processo há uma redução da temperatura auxiliada pelos aeradores.

Vale salientar que quanto maior a temperatura, menor será a capacidade de transferência de oxigênio para o meio líquido pelo sistema de aeração. A

dissolução do oxigênio é bastante prejudicada com o aumento de temperatura do efluente.

Em relação aos odores emitidos pelas lagoas, observa-se que há uma maior taxa de evaporação na primeira lagoa. Considerando-se que os efluentes possuem uma concentração alta de compostos de enxofre total reduzido proveniente do processo fabril, há uma maior liberação desses compostos para a atmosfera nessa lagoa.

#### **4.1.2. Oxigênio dissolvido**

Durante o monitoramento, em todas as medições efetuadas ao longo das lagoas e nas diferentes profundidades, os níveis de oxigênio dissolvido encontrados foram próximos de zero. Isso demonstra que possivelmente há uma demanda de oxigênio maior do que aquela atualmente ofertada pelos aeradores.

Observa-se que há geração significativa de odores, sobretudo na lagoa de decantação, onde os processos anaeróbicos são intensos. É possível observar a presença de bolhas de gases na superfície desta lagoa.

#### **4.1.3. pH**

O pH de entrada da primeira lagoa, após a sua correção, situou-se na faixa de 5 a 5,5 durante o monitoramento, conforme mostrado na Figura 22. Observa-se que apesar de o efluente de entrada possuir um pH com caráter mais ácido, ocorre um aumento bastante significativo do pH já na primeira lagoa (6,5 a 7). O poder tampão dos reatores biológicos é um fato freqüente e benéfico ao processo, uma vez que enzimas celulares possuem uma especificidade e exigem um pH neutro para permitir a atividade microbiana.

A geração de odores pela formação de  $H_2S$  é reduzida na medida em que o pH é elevado, ou seja, em ambientes com o pH acima de 7 há a formação do íon  $HS^-$  que fica no meio aquoso, ao invés de  $H_2S$  que pode se desprender para a atmosfera.

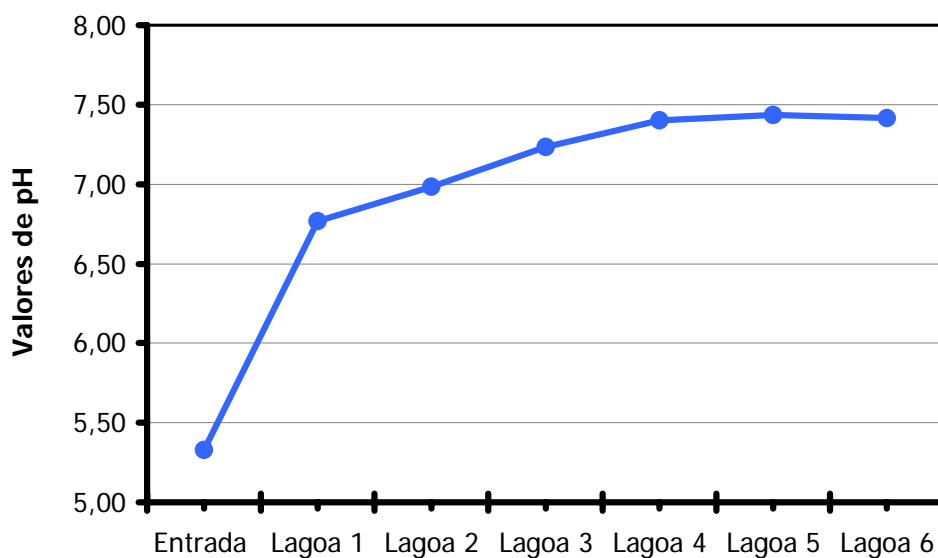


Figura 22 – Perfil do pH médio ao longo das lagoas

#### 4.1.4. Acúmulo de lodo nas lagoas

As lagoas aeradas facultativas possuem três funções distintas: degradar a matéria orgânica dissolvida e coloidal dos efluentes de entrada, transformando-as em sólidos biológicos e gases; proporcionar a sedimentação dos sólidos para o fundo das lagoas; e efetivar a digestão do lodo depositado no fundo das lagoas.

Como o sistema de lagoas da Aracruz vem sendo operado desde 1992, era de se esperar um acúmulo de lodo biológico no fundo delas. A Aracruz já efetuou vários levantamentos batimétricos que buscaram avaliar a quantidade de lodo acumulado no período. O Quadro 7 transcreve os resultados obtidos pela Aracruz, conforme Relatório Técnico Interno de Abril de 2003.

Vale observar que, no cálculo geral, mais de 30% do volume das lagoas encontra-se atualmente comprometido com lodo, exceto a Lagoa 1 que teve o seu lodo removido em 2002.

Quadro 7 — Volume de sedimento depositado e porcentagem de ocupação do volume original das lagoas

Lagoa	Volume de sedimento (m <sup>3</sup> )					Porcentagem de ocupação (%)				
	2003	2002	2000	1999	1996	2003	2002	2000	1999	1996
1	1.742	*	117.600	115.100	68.200	1	*	58	57	35
2	58.945	69.003	45.100	32.200	29.600	30	34	22	16	15
3	50.864	53.331	37.600	27.500	31.500	25	26	18	13	15
4	57.452	59.742	37.100	28.900	28.800	27	28	17	13	13
5	60.627	58.518	37.000	27.300	17.100	33	32	19	14	9
6	57.640	35.138	22.300	12.500	18.300	35	29	18	10	15
<b>Total</b>	287.270	275.732	179.100	243.500	193.500	-	-	-	-	-

Fonte: Relatório Técnico Interno Aracruz, 2003

Notas: \* Lagoa 1 se encontrava em processo de limpeza

Uma demanda significativa de oxigênio dissolvido é exercida pelo lodo depositado progressivamente no fundo das lagoas. O lodo biológico acumulado nas lagoas sofre a auto-oxidação e as células se decompõem em compostos mais simples. Esta degradação pode ser realizada aerobicamente ou, na ausência de oxigênio dissolvido, anaerobicamente. A degradação anaeróbica poderá resultar na geração de gases odoríferos, sobretudo deste tipo de efluente que possui altas concentrações de sulfato.

#### 4.1.5. Emissões odoríferas das lagoas

As emissões odoríferas geradas nas lagoas têm essencialmente duas origens: i) as oriundas do licor preto (digestor e evaporação), chamadas de compostos de enxofre total reduzido (TRS) e; ii) as resultantes da decomposição anaeróbica, em que há a atuação das bactérias sulfo-redutoras que reduzem o sulfato a sulfeto.

A determinação quantitativa das emissões aéreas das lagoas é bastante complexa, devido principalmente às grandes variações no processo industrial. A forma ideal de se quantificar as emissões desses compostos odoríferos seria a sua medição direta na superfície das lagoas e nas suas proximidades. Porém, a maior dificuldade para efetuar tais medições é a presença de concentrações muito abaixo dos níveis de detecção da maioria dos equipamentos disponíveis no mercado.

Buscou-se a elaboração, durante um mês, de um balanço de massa de enxofre total na entrada e saída das lagoas, além da medição de enxofre total na fase líquida do interior das lagoas. Infelizmente, tal balanço mostrou-se deficiente e os dados obtidos não foram satisfatórios, não tendo sido possível a sua utilização.

## **4.2. Caracterização climática da área estudada**

### **4.2.1. Análise dos dados meteorológicos**

Para a análise realizada para os ventos, utilizando-se os dados coletados na “Estação Fábrica”, verificou-se que há predominância das direções N e NE no período de outubro a fevereiro e das direções S e SW no período de abril a julho. Nos meses de março, agosto e setembro não há predominância de nenhuma direção.

Estes resultados foram obtidos mediante a construção de diagramas denominadas planilhas temáticas, conforme explicado no material e métodos. Dois exemplos do resultado das planilhas temáticas são mostrados nas Figuras 23 e 24. A Figura 23 representa os dados relativos ao mês de outubro de 2002, onde se observa a predominância das direções de vento N e NE, sendo a direção N predominante de 0 e 11 h e de 20 a 24 h. A Figura 24 refere-se ao mês de abril de 2002, onde se observa a predominância das direções S e SW, sendo a direção SW de 0 a 8 horas e de 21 e 24 h e as direções S de 10 a 19 h.

Direção dos ventos (mês de outubro)																								
Dias	Horários																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	N	N	NW	S	S
02	SE	N	S	S	W	E	SW	W	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW
03	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SE	SE	SE	E	E	SE	E	SE	E	E	E	NE	N	N
04	N	NW	NW	N	N	N	N	NW	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N
05	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N
06	NW	N	NW	N	N	NW	N	N	N	N	NE	N	SE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N
07	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
08	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	N	NE	N	N	N	N	N
09	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	NW	N	NW
10	NW	NW	N	N	N	SW	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NW	N
11	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
12	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	NW	N
13	N	N	NW	NW	NW	N	NW	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	NW
14	N	N	N	NW	N	N	N	NW	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NW	NW	N
15	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
16	N	N	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	N	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
17	N	N	NW	N	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	NW	N
18	N	S	S	SE	N	SE	N	N	N	NE	E	E	E	E	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N
19	N	N	N	SW	SW	SW	S	NE	E	E	E	E	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N
20	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	NW
21	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	N	N	N	N	N	N
22	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	SE	E	SE	S	SE	SE	SE	SE	S	S	S	SW
23	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
24	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	SE	S	S
25	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SE	SE	SE	E	E	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	NW	N	N
26	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N
27	N	N	N	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NW	N	N
28	NE	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
29	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	N
30	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NE	NE	NE	N	N	N	N	N	N	N
31	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW

Figura 23 — Exemplo de uma Planilha Temática de Direção dos Ventos – Outubro de 2002

Direção dos ventos (mês de abril)																								
Dias	Horários																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	NW	NW	N	N	N	N	NW	NW	NW	NW	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	N	N	NW
02	N	NW	N	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	W	NW	SW
03	NW	NW	NW	SW	SW	N	NW	N	NW	N	N	SE	SE	E	NE	NE	NE	NE	NE	E	S	S	SW	
04	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	SW	SW	SW	SW
05	SW	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	SW	SW	SW	SW
06	SW	SW	SW	SW	SE	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	SE	S	S	S	SE	S	SW	SW	SW	SW	SW
07	SW	W	S	S	SE	S	SW	SW	S	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	SW	SW	SW	SW	SW
08	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	SW	SW	SW	S
09	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	SE	SE	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW
10	SW	S	S	SW	S	S	SW	SW	S	S	S	S	S	S	S	S	SE	S	S	S	S	SW	SW	SW
11	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE	E	N	SW	SW
12	SW	SW	SW	SW	SW	SW	NW	NW	NW	NW	N	NW	N	N	NE	NW	N	N	N	N	N	N	N	N
13	N	N	N	N	N	NW	NW	N	N	N	NW	S	S	SE	S	SE	SE	S	S	SW	SW	SW	SW	S
14	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	SE	S	S	S	S	S	S	SW	SW	S
15	S	S	S	SE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW
16	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW
17	SW	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	N	N	N
18	S	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SE	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	S	SE	SE
19	SE	S	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	SE	S	SE	SE	SE	S	S	N	N	N	NW
20	W	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	N	NE	E	NE	SE	S	S	S	S	NE	NE	N	N	N	SW
21	SW	N	SW	SW	SW	S	SW	SW	SW	N	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	S	S	SW	
22	N	N	S	SW	S	SW	SW	SW	SW	E	SW	S	S	S	S	S	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE
23	SE	SE	S	S	S	SE	S	S	SE	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	S	S	S	SE
24	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	S	S	S	SW	SW	SW	SW
25	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	N	S	SE	SE	NE	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
26	N	NW	NW	NW	NW	N	NW	N	N	N	NW	NW	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NW	N	NW
27	N	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	N	NW	NW	N	N	NE	NE	NE	NE	NE	N	SW	SW	SW	S
28	SW	S	S	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW	S	SE	SE	S	S	S	S	S	S	S	S	S	SW	SW
29	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
30	SW	SW	N	W	W	NW	NW	NW	N	N	NW	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	NW	NW

Figura 24 — Exemplo de uma Planilha Temática de Direção dos Ventos – Abril de 2002

Após a constatação das direções predominantes do vento na região estudada, optou-se por calcular as médias mensais no período do ano de 1996 até o ano 2002. Esses cálculos foram realizados a partir da base de dados fornecida para indústria Aracruz S/A, que eram horários, diários e mensais (Ver Quadro 8).

Quadro 8 – Médias mensais das oito principais direções do vento, em percentagem (%)

Direções	MESES												Médias
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	dez	
<b>N</b>	43	37	29	20	17	24	19	24	29	32	34	46	30
<b>NE</b>	25	23	17	8	6	8	10	16	15	17	14	19	15
<b>E</b>	3	5	5	2	2	2	2	4	4	3	3	2	3
<b>SE</b>	5	7	7	9	7	8	8	9	9	10	10	6	8
<b>S</b>	8	9	14	22	23	17	22	14	19	17	19	11	16
<b>SW</b>	8	10	18	31	35	30	29	23	17	16	15	10	20
<b>W</b>	1	2	2	3	3	3	2	2	1	1	1	1	2
<b>NW</b>	7	7	8	5	7	8	8	8	6	4	4	5	6

Notas: os valores sombreados correspondem às direções predominantes

A partir dos valores calculados, construíram-se anemogramas mensais (oito direções), conforme apresentados na Figura 23.



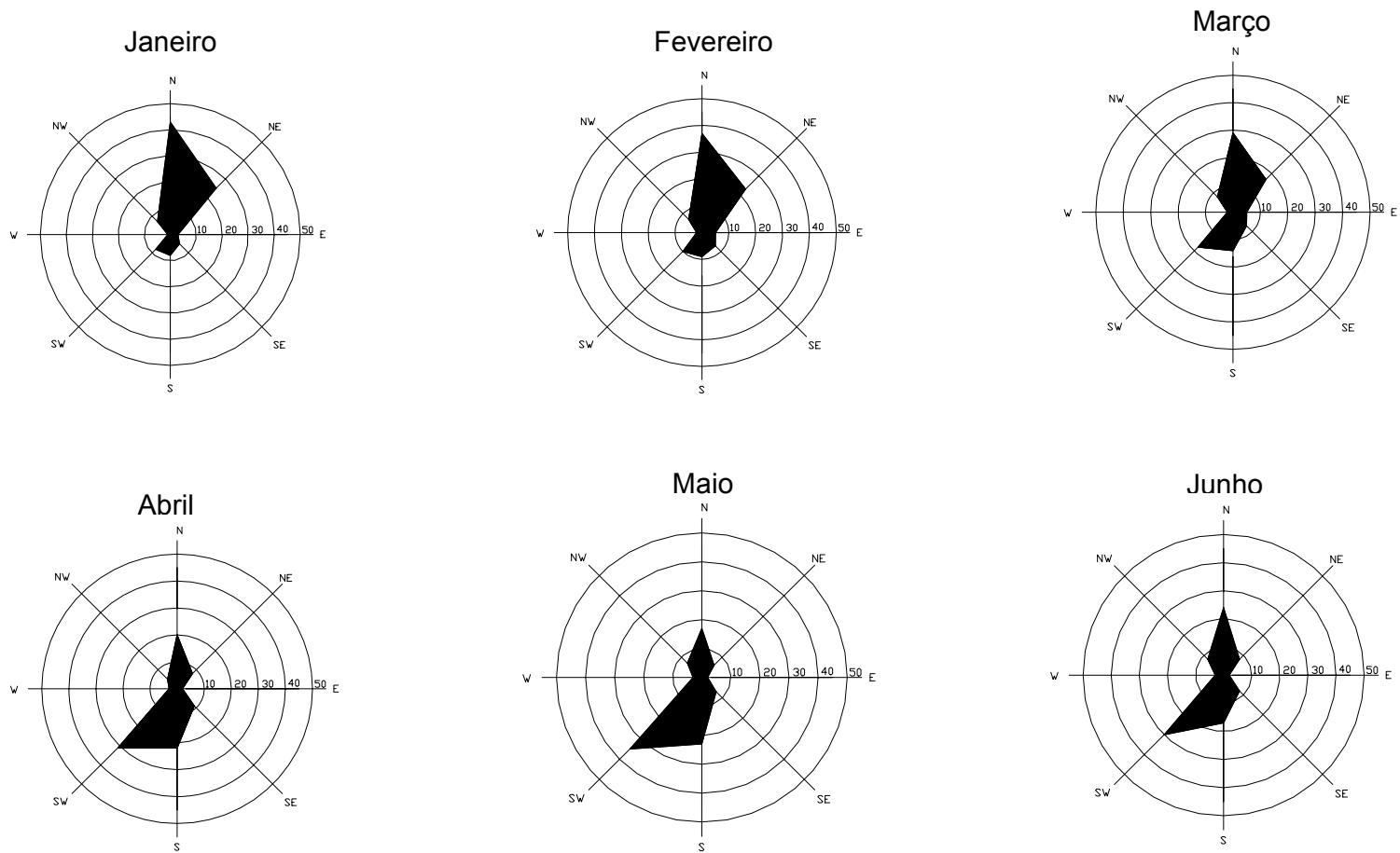


Figura 23 — Anemogramas mensais (%)

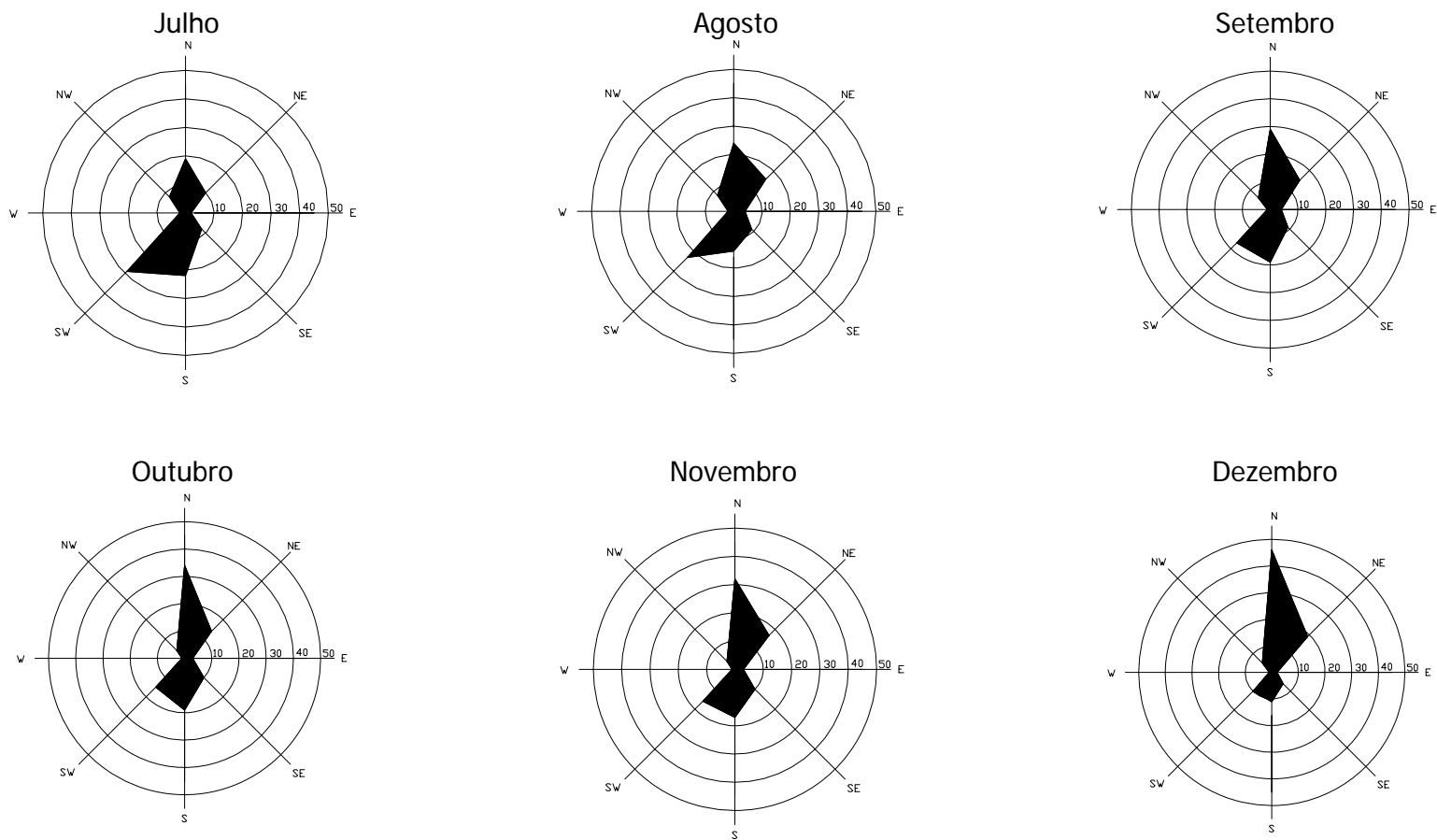


Figura 23 — Anemogramas mensais (%) (continuação)

A média das velocidades do vento registradas entre o ano de 1996 a 2002 foi calculada para cada mês do ano. Esses dados estão dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 — Valores de velocidades do vento na estação meteorológica fábrica.

Período: 1996 à 2002.

<b>Meses</b>	<b>Máximo (m/s)</b>	<b>Média (m/s)</b>	<b>Mínimo (m/s)</b>	<b>Desvio Padrão (m/s)</b>
<b>Janeiro</b>	6,1	1,9	0,3	1,0
<b>Fevereiro</b>	5,9	2,0	0,3	1,0
<b>Março</b>	7,2	1,9	0,3	1,1
<b>Abril</b>	6,9	2,0	0,3	1,2
<b>Mai</b>	8,2	2,1	0,3	1,2
<b>Junho</b>	7,3	2,0	0,3	1,2
<b>Julho</b>	8,3	2,1	0,3	1,3
<b>Agosto</b>	9,3	2,1	0,3	1,3
<b>Setembro</b>	8,0	2,2	0,3	1,2
<b>Outubro</b>	7,7	2,2	0,3	1,2
<b>Novembro</b>	6,9	2,3	0,3	1,2
<b>Dezembro</b>	6,2	2,2	0,3	1,1

#### 4.1. Proposição de elementos paisagísticos para a mitigação dos odores nas comunidades

Como uma alternativa para solucionar problemas de odores gerados em ETEs, com as características e resultados discutidos anteriormente, apresenta-se uma proposta de implantação de elementos paisagísticos que venha mitigar os odores oriundos das lagoas de tratamento de efluentes da Aracruz.

A proposta constitui-se de um conjunto de elementos paisagísticos distribuídos em quatro áreas de intervenções (A, B, C, D), dispostas de formas distintas mas física e funcionalmente interconectadas do ponto de vista de comportamento ambiental.

As figuras 25 e 26 visam a facilitar o entendimento do conjunto e de cada área de intervenção.

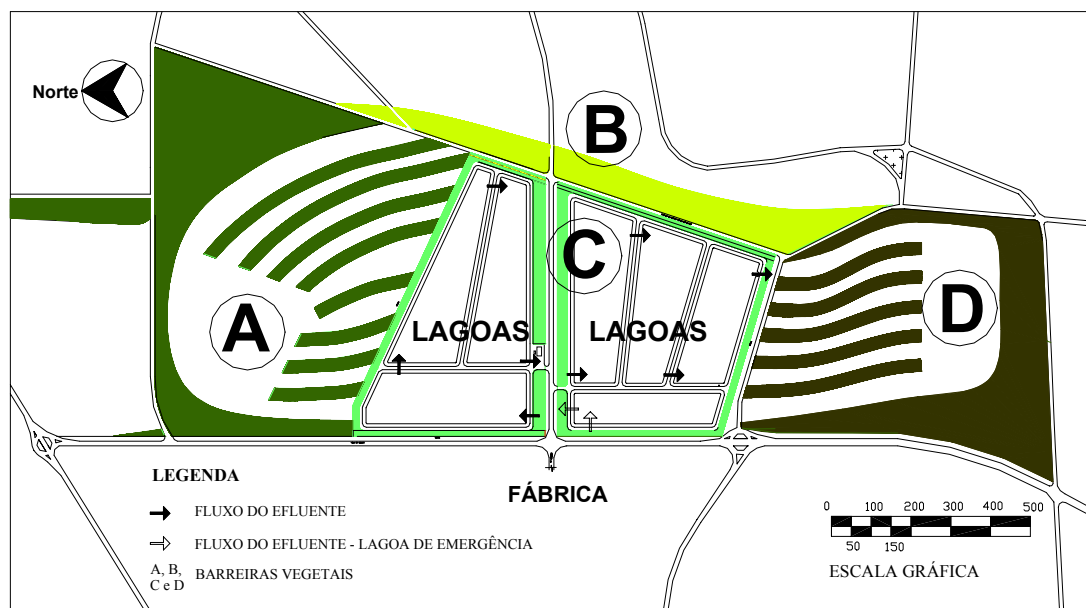


Figura 25 – Localização das áreas de intervenções A, B, C e D.

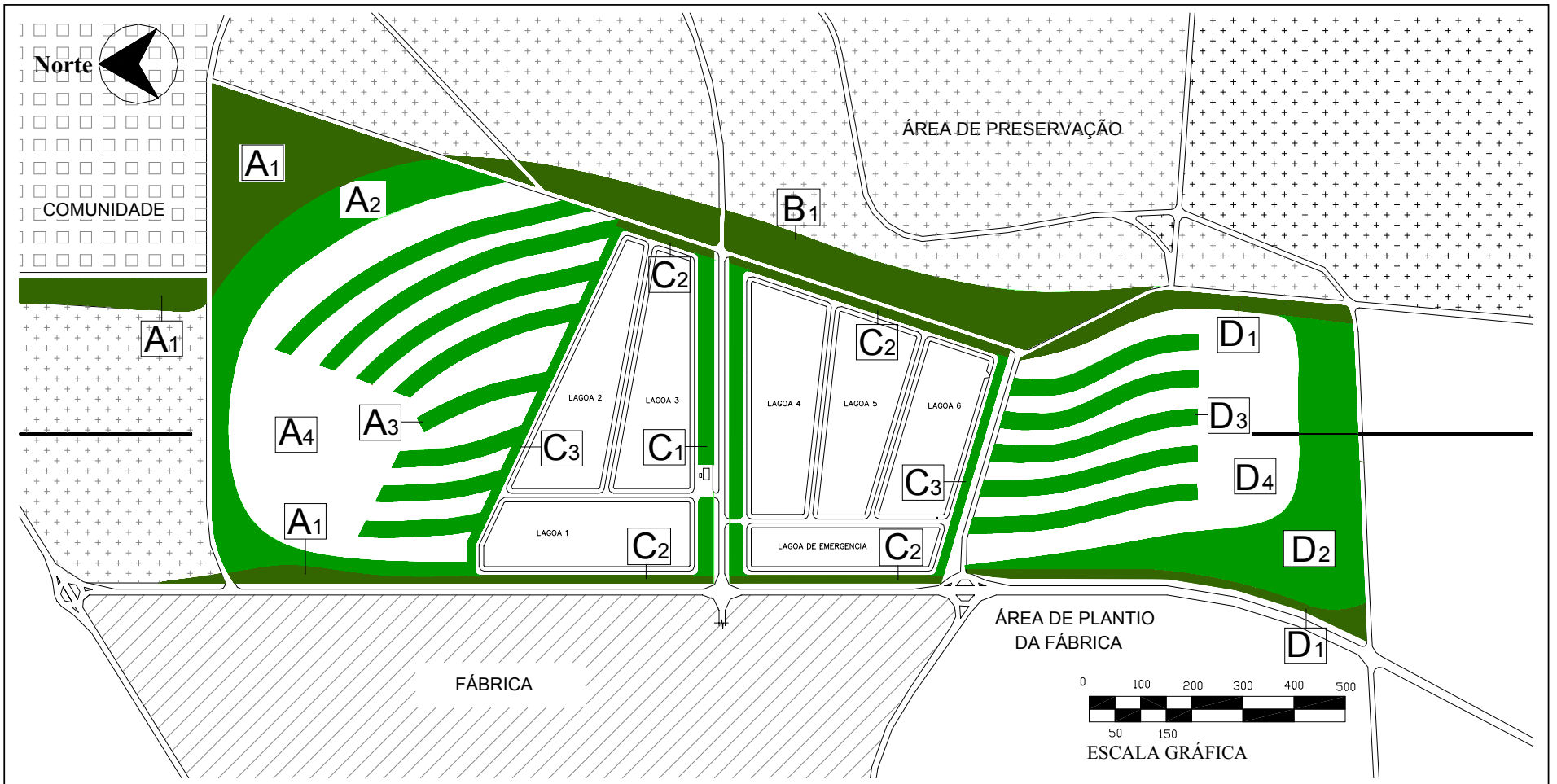


Figura 26 – Layout das barreiras

Em função das principais características necessárias para as vegetações que devem compor as barreiras, buscou-se na literatura alguma informação e elaborou-se um quadro (ver anexo 3) no qual é apresentada uma lista de espécies vegetais que possuem uma ou mais características necessárias para a construção dessas barreiras. Nesse quadro foram inseridas as principais características que são o porte, a ocorrência no Estado do Espírito Santo, o crescimento rápido, a flexibilidade, a liberação de aroma, a densidade da copa e a superfície foliar.

### **Área de intervenção A**

Essa área está localizada ao norte das lagoas, estando situada entre estas e a comunidade de Barra do Riacho. Os elementos paisagísticos propostos para essa área têm como principais objetivos o desvio das correntes de ar que passam pelas lagoas em direção à comunidade Barra do Riacho e a redução da concentração dos compostos odoríferos presentes nessas correntes de ar. Para isso, sugerem-se barreiras vegetais, que foram divididas de acordo com a sua função (A1, A2 e A3) e uma área de aromatização (A4), como apresentadas na Figura 26. As funções de cada barreira são descritas a seguir.

**Barreira A1** - tem a função de servir como obstáculo e deve ficar disposta logo após a barreira A2 impedindo, assim, as correntes de ar que chegam no topo da barreira A2, formando um obstáculo de árvores. (Ver Figura 27)

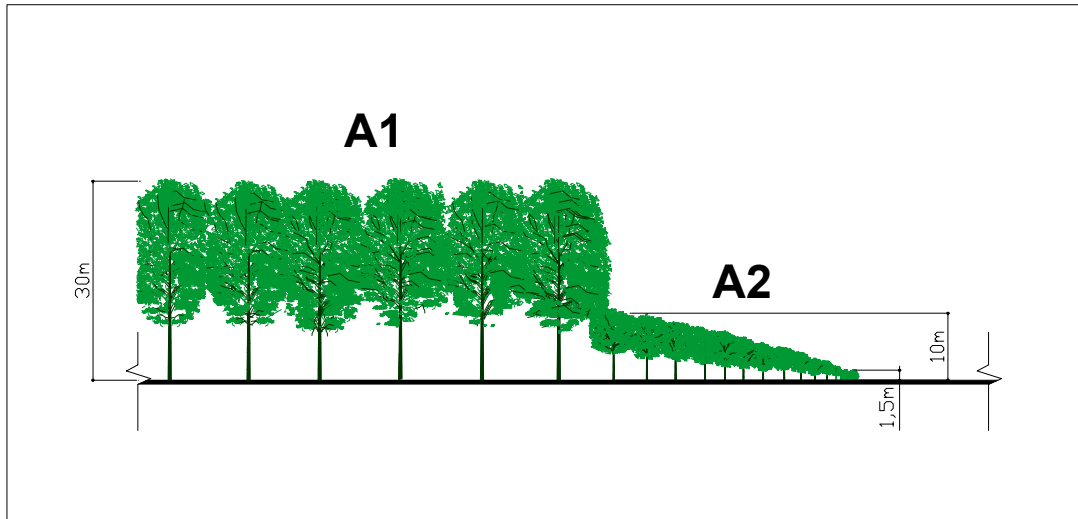


Figura 27 – Corte esquemático das barreiras A1 e A2

Essa barreira deverá ter fileiras dispostas de forma alternada, ou seja, as vegetações da primeira fileira devem ficar alinhadas entre as vegetações da segunda fileira (ver Figura 28). Esse procedimento tem como objetivo fechar, ao máximo, os espaços vazios impedindo assim o efeito pilotis, citado por Romero (2000).

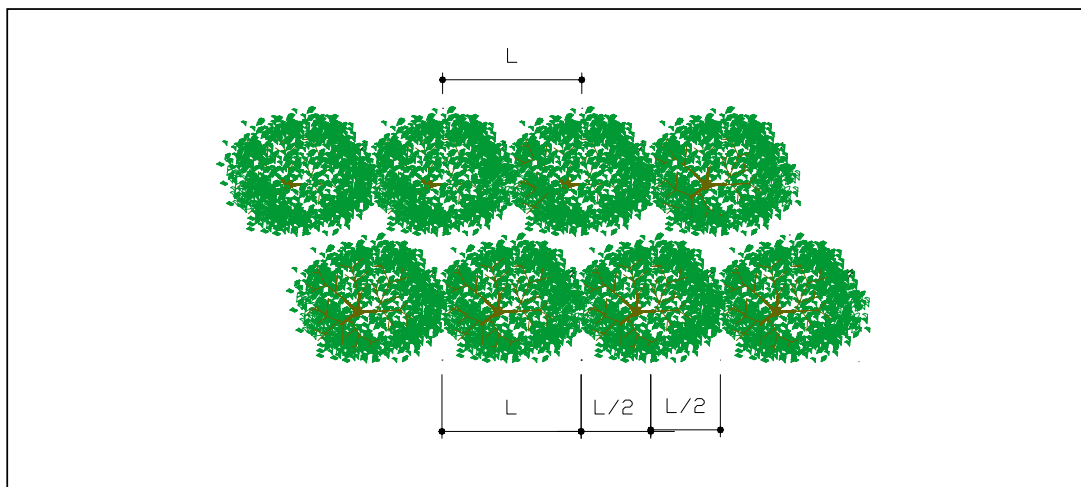


Figura 28 – Fileiras dispostas de forma alternada

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir porte alto, por volta de 30 m para impedir ao máximo que o vento contorne a barreira. A copa deve ser bem densa, fechada e com folhas largas e perenes. A densidade da

copa serve para bloquear a infiltração do vento na barreira e a largura das folhas tem por objetivo criar uma superfície com menor nível de atrito.

**Barreira A2** - tem a função de desviar e conduzir o vento. Sua estrutura é composta por fileiras de arbustos e árvores com portes diferenciados, que devem variar de 1,5 m a 10 m. Essas fileiras devem ser dispostas de forma crescente no sentido da barreira A1. Essa disposição tem por objetivo criar um efeito semelhante a superelevação de trechos em curva em estradas e trilhos. A superelevação consiste na elevação da margem externa das curvas, combatendo a força centrífuga evitando assim que o corpo móvel saia pela sua tangente.

Essa barreira deverá ter fileiras dispostas de forma alternada, ou seja, as vegetações da primeira fileira devem ficar alinhadas entre as vegetações da segunda fileira, fechando, ao máximo, os espaços vazios e impedindo, assim, o efeito pilotis.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa densa e bem fechada com folhas largas e perenes. Para evitar o efeito pilotis, deve-se fazer uma composição de arbustos e árvores. As duas primeiras fileiras devem ser compostas por arbustos com a estrutura bem fechada.

**Barreira A3** - tem a função de desviar e conduzir o vento até a área A4, bem como reter e diluir os gases odoríferos. Ao percorrer as barreiras do tipo A3, o movimento do ar deve tornar-se turbulento, causando uma maior mistura, objetivando reduzir a concentração dos gases odoríferos carregados por ele. O trajeto dessas barreiras também aumenta o contato com as folhas das vegetações possibilitando a remoção dos compostos odoríferos por meio da retenção, absorção e/ou adsorção pelas mesmas (ver Figura 29).



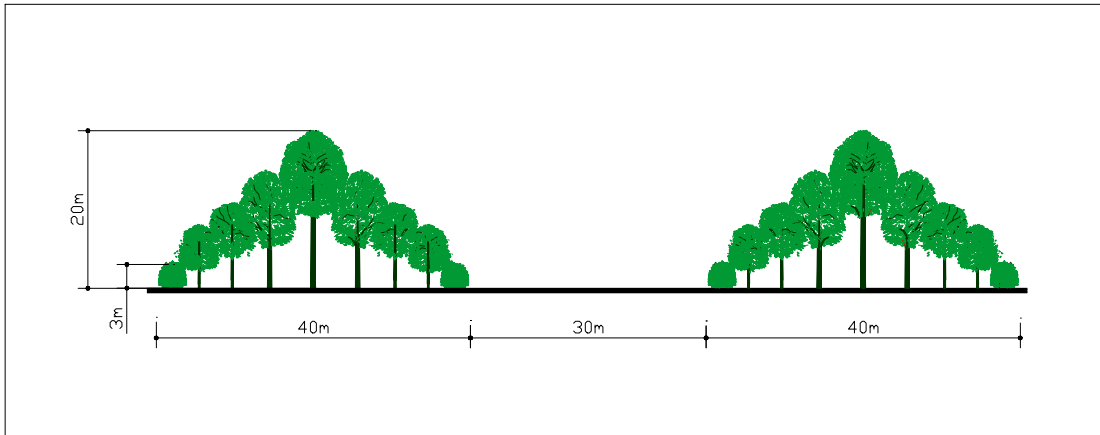


Figura 29 – Corte esquemático da barreira do tipo A3.

As barreiras do tipo A3 são dispostas de maneira a criarem formas convergentes e divergentes, o que, de acordo com Romero (2000), provoca a aceleração e desaceleração do ar. Esse efeito ajuda também a diluição dos gases odoríferos.

As espécies escolhidas para esse tipo de barreira devem possuir copa densa e folhas com alta área superficial, que auxiliem a turbulência do ar, pois quanto maior forem os recortes das folhas, maior será a sua capacidade de interceptar as correntes de ar. A superfície das folhas deve ser pilosa para aumentar a sua capacidade de retenção ajudando, assim, na remoção dos compostos odoríferos do ar.

**Área de aromatização A4** - fica localizada adjacente às barreiras A3 e recebe o vento que elas desviam das lagoas. Nessa área as correntes de ar reduzem a sua velocidade e ficam retidas em movimentos turbulentos. Esse procedimento tem o objetivo de diluir os gases odoríferos e fazer com que o ar circule entre as vegetações que possuem aroma.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa com densidade média e folhas perenes com área grande. Devem, também, desprender aromas que possam mascarar os compostos odoríferos que ainda estiverem presentes no ar. Pode-se escolher espécies que desprendam aromas nas flores, fazendo-se uma composição de acordo com a época de floração de cada espécie de modo a se ter espécies florindo o ano inteiro. Essas espécies

devem ser bem estudadas antes de sua implantação para certificar-se de que os aromas desprendidos por elas mascarem os compostos odoríferos e não os acentue.

A vegetação deverá ser disposta de forma irregular e espaçada para permitir que o vento circule.

### **Área de intervenção B**

Essa área está localizada no terreno a leste das lagoas, sendo que, ao norte desse terreno se encontra a comunidade de Barra do Riacho. O objetivo principal da implantação de elementos paisagísticos nessa área é impedir que as correntes de ar, que passam pelas lagoas, cheguem até a área de preservação mostrada na Figura 26 podendo alcançar a comunidade de Barra do Riacho. Para isso, sugerem-se barreiras vegetais B1, como mostrado na Figura 26. Sua altura deve ser por volta de 30m. Essa barreira deverá ter fileiras dispostas de forma alternada, como mostrado na Figura 28.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa densa e fechada e folhas largas e perenes.

### **Área de intervenção C**

Essa área está localizada no terreno que contorna as lagoas. Os objetivos principais da implantação de elementos paisagísticos nessa área consistem em impedir que as correntes de ar que passam pelas lagoas alcancem as estradas principais, e conduzir essas correntes para as áreas A e D. Para isso, sugerem-se barreiras vegetais que se dividem, de acordo com a sua função, em C1, C2 e C3.

**Barreira C1** - tem a função de impedir a passagem das correntes de ar através dela, desviando-as para cima. As barreiras do tipo C1 ficam nos dois lados da estrada que corta as áreas das lagoas no sentido leste-oeste. Essa estrada é muito atingida pelo odor das lagoas, pois recebe os ventos das direções predominantes provenientes das lagoas, tanto N e NE como S e SW.

Para impedir que esses ventos cheguem na estrada, as barreiras devem ser implantadas de forma a criarem duas rampas visando induzir o vento a passar acima da estrada, como mostrado na Figura 30.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa densa, bem fechada e folhas largas

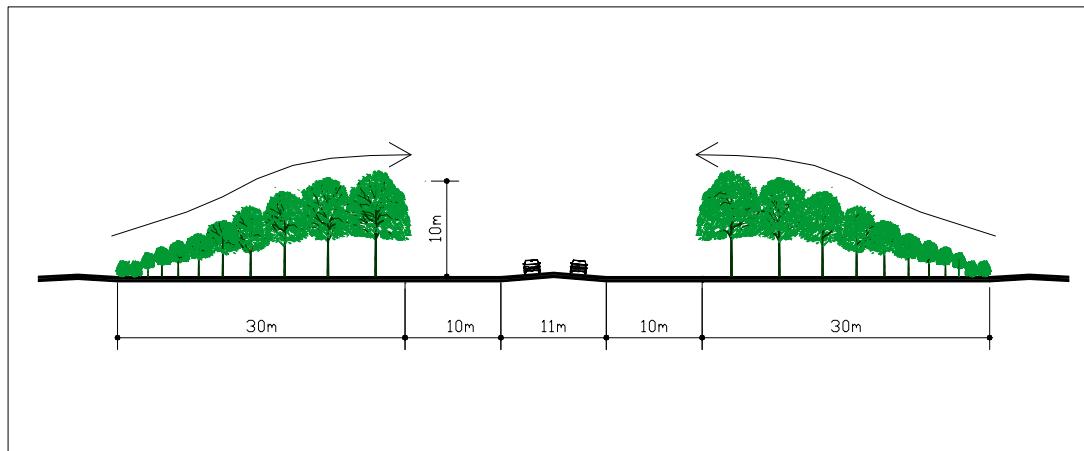


Figura 30 – Corte esquemático da barreira C1

**Barreira C2** - tem a função de barrar a passagem do vento que passa pelas lagoas. É composta de uma fileira de arbustos formando uma cerca viva no lado das lagoas, e árvores com espécies de porte alto, por volta de 30 m. A copa deve ser densa, fechada, com as folhas largas e perenes; a primeira bifurcação dos galhos que a formam não deve ser maior do que a altura dos arbustos que formam a cerca viva.

**Barreira C3** - tem a função de redirecionar e conduzir o vento, levando-o para as áreas de intervenção A e D.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa densa, bem fechada; a primeira bifurcação dos galhos deve ser alta o suficiente para manter a parte inferior livre para a passagem do vento. Essa forma deve induzir o efeito pilotis, citado por Romero (2000) (ver Figura 31). As espécies devem ser resistentes ao vento.

As barreiras do tipo C3 deverão ter as fileiras dispostas de forma alinhada, ou seja, as vegetações da primeira fileira devem ficar alinhadas com a direção das vegetações da segunda fileira. Esse procedimento tem como objetivo criar corredores gerando o efeito de canalização do vento, de acordo com Romero (2000).

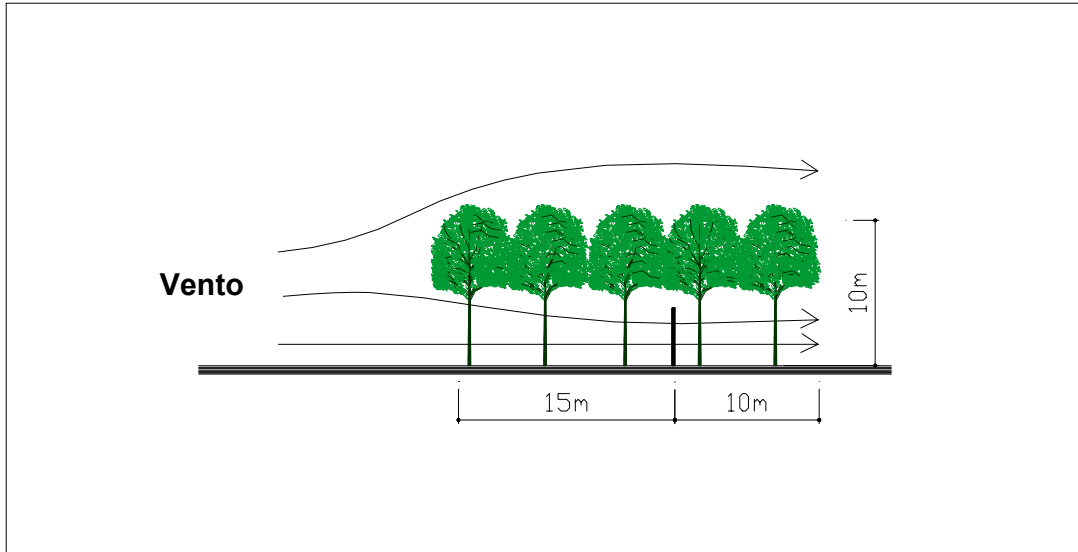


Figura 31 - Corte esquemático da barreira C3

### **Área de intervenção D**

Essa área está localizada no terreno ao sul das lagoas. O objetivo principal da implantação de elementos paisagísticos nessa área é reduzir a concentração dos compostos odoríferos das correntes de ar que passam pelas lagoas. Para isso, sugerem-se barreiras vegetais, que foram divididas de acordo com a sua função (D1, D2 e D3) e uma área de aromatização (D4), como apresentadas na Figura 26. As funções de cada barreira são descritas a seguir.

**Barreira D1** - fica disposta logo após a barreira D2; sua altura deve ser por volta de 30m. Possui a função de bloquear as correntes de ar acima da barreira D2 evitando que as correntes de ar cheguem nas estradas laterais à área de intervenção D. As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir

copa densa, bem fechada e folhas largas. O fato dela se localizar após a barreira D2 evita o efeito pilotis.

Tem a função de servir como obstáculo e deve ficar disposta logo após a barreira D2 impedindo, assim, que as correntes de ar que chegam no topo da barreira D2 passem para o outro lado, similarmente ao que já foi descrito para a barreira A1 (Ver Figura 27).

**Barreira D2** - tem a função de desviar e conduzir o vento. Sua forma é escalonada, ou seja, sua altura varia de 1,5 m a 10 m, formando uma rampa, semelhante a barreira A2. As correntes de ar quando passarem por essa barreira deverão ser elevadas evitando que o fluxo de ar viaje em lâmina próximo à superfície do solo; também terão o movimento turbulento, o que auxilia na diluição dos gases odoríferos.

As espécies escolhidas para essa barreira devem possuir copa densa bem fechada e folhas largas.

**Barreira D3** - similar ao que foi descrito para a barreira A3, na área de intervenção A, tem a função de desviar e conduzir o vento até a área D4, bem como reter e diluir os gases odoríferos. Difere-se da barreira A3 somente pelo fato de não existir comunidade no terreno adjacente, o que possibilita que sua forma possua curvas mais suaves, pois não é necessário desviar as correntes de ar, mas apenas conduzi-las para a área D4.

**Área de aromatização D4** - fica localizada adjacente às barreiras D3 e recebe o vento que elas desviam das lagoas. Sua função é similar à da área A4.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Investigando-se as condições de funcionamento da ETE de uma fábrica de celulose brasileira, as emissões odoríferas geradas nas lagoas têm presumivelmente duas origens: i) os compostos de enxofre total reduzido (TRS) oriundos do licor preto (digestor e evaporação) e; ii) a decomposição anaeróbica em que há a atuação das bactérias sulfo-redutoras que reduzem o sulfato a sulfeto.

O diagnóstico realizado nas lagoas aponta no sentido de que a geração de odores está relacionada com os seguintes fatores:

- a) a alta temperatura nas lagoas e as altas concentrações de compostos de enxofre total reduzidos no efluente bruto criam condições favoráveis ao desprendimento destes gases para o ambiente;
- b) o baixo nível de pH na primeira lagoa tende a favorecer a formação de  $H_2S$ ;
- c) os baixos níveis de oxigênio nas lagoas podem estar ocasionando a anaerobiose do lodo depositado no fundo e gerando gases odoríferos, sobretudo na lagoa final de decantação;
- d) as lagoas estão com um acúmulo de lodo no fundo, o que pode estar acarretando uma maior demanda de oxigênio e reduzindo o tempo de detenção hidráulico das lagoas, ocasionando uma maior geração de odores.

De acordo com o levantamento climatológico feito, as comunidades mais sujeitas a estarem sendo afetadas pelos odores transportados pelo vento são as cidades Barra do Sahy, Coqueiral e Santa Cruz e as reservas indígenas Pau Brasil (Tupiniquins), Boa Esperança (Guarani) e Caieiras Velha (Tupiniquins), no período de novembro a março, quando há predominância, em praticamente todo o dia, das direções N, NE e NW. Já no período de abril a setembro, quando predominam os ventos nas direções S, SE e SW, as comunidades que possuem a maior probabilidade de estarem sendo afetadas são as cidades Barra de Riacho, Vila do Riacho e a Reserva indígena Comboios (Tupiniquins). Locais a leste e oeste das lagoas têm pouquíssima probabilidade de serem atingidas pelos odores gerados nas lagoas.

Em função da situação levantada, optou-se por sugerir barreiras vegetais que possuam objetivos distintos de bloquear e desviar as correntes de ar, proporcionando uma mistura e diluição dos gases, e retendo os compostos odoríferos de forma a minimizar os seus efeitos negativos nas comunidades.

A presente pesquisa resultou numa proposição que espera-se que seja implantada e monitorada com equipamentos adequados. Recomenda-se que as medições e estudos sejam efetuados de forma a se obter informações mais específicas sobre a geração de gases odoríferos das lagoas, sobre as concentrações que chegam nas barreiras e as que saem, como também as que estão chegando nas comunidades.

O monitoramento pode ser dividido em três partes: monitoramento da geração de gases odoríferos das lagoas, monitoramento das barreiras e monitoramento das comunidades. O monitoramento das lagoas pode ser feito medindo-se as concentrações dos compostos odoríferos em pontos ao redor das lagoas. O monitoramento das barreiras pode ser feito de forma a se obter informações de quanto as barreiras estão contribuindo para a redução das concentrações dos gases odoríferos. Já o monitoramento nas comunidades pode ser feito em duas etapas: uma antes da implantação das barreiras e outra depois das barreiras implantadas.

Com relação à escolha da vegetação para compor as barreiras, as principais características dos vegetais que podem ser utilizados devem ser: o

porte, o tempo de crescimento, a flexibilidade e a forma da copa das árvores, como também, a forma e a superfície das folhas.

Além das características já mencionadas, a escolha das vegetações também deve observar outros fatores que possam influir na eficiência e funcionalidade das barreiras, como:

- a) a taxa de remoção dos poluentes gasosos depende do vigor da árvore. As espécies devem ser selecionadas por diversas características, mas, principalmente, devem resistir ao poluente a que serão expostas;
- b) as árvores que filtram particulados mais eficientemente são as que têm maior densidade de ramos, troncos e galhos mais rugosos, e folhas mais pilosas com alta proporção de superfície em relação a área que ocupam;
- c) as árvores que produzem frutos devem ser estudadas para se garantir que estes frutos não venham causar danos à fauna que se alimenta deles, caso estes absorvam os compostos odoríferos;
- d) as plantas devem ser selecionadas escolhendo aquelas com raízes que não ofereçam risco às estruturas das lagoas, que são impermeabilizadas, para evitar que o lençol freático seja contaminado;
- e) o solo também ajuda na remoção dos poluentes. A remoção dos poluentes é melhorada quando as árvores são plantadas em solo que está coberto por plantas e folhas.

Por meio desse trabalho pode-se também entender a necessidade de planejamento das lagoas levando-se em conta a geração de odores e a dispersão dos mesmos. As lagoas devem possuir as dimensões, a disposição e a localização projetadas de forma a minimizar principalmente o possível incômodo às comunidades vizinhas.

No caso de se optar pela implantação de barreiras vegetais para a mitigação dos odores liberados pelas lagoas, o projeto das barreiras pode ser feito associado ao projeto de implantação das lagoas, possibilitando assim melhor estudo e disponibilização de áreas para essas implantações. Outro fator positivo dessa associação consiste no tempo de crescimento que a vegetação demanda para atingir sua idade adulta que poderá ser levado em conta e



estudado de forma que possibilite que as barreiras estejam bem formadas na época em que for necessária a sua atuação. Todas lagoas facultativas, como as estudadas nesse trabalho, possuem um tempo médio de 10 anos de operação; depois desse tempo, é necessário que se faça a dragagem do lodo que se deposita no fundo das lagoas. Esse lodo, como já foi discutido nesse trabalho, é responsável pela formação principalmente de  $H_2S$ , composto odorífero. Portanto, pode-se inferir que a implantação de barreiras vegetais para a mitigação de odores em lagoas de tratamento de efluentes é uma alternativa que poderá ser futuramente incorporada em qualquer lagoa desse tipo, pois mesmo que essas lagoas sejam projetadas para não liberarem compostos odoríferos, nos últimos anos que antecedem a sua dragagem haverá a liberação desses compostos devido ao acúmulo de lodo natural desse processo.

A implantação de barreiras vegetais para a mitigação de odores em lagoas de tratamento de efluentes, foi estudado neste trabalho utilizando lagoas aeradas facultativas, porém, a sua utilização pode ser ampliada para qualquer estação de tratamento de efluentes que possuam a geração de odores.

Mesmo sendo uma idéia ainda pouco estudada, a implantação de barreiras vegetais para a mitigação de odores é uma solução natural e bela que também poderá reduzir o impacto visual das ETEs, fornecendo a esses ambientes um aspecto mais agradável, contribuindo assim para o aumento da qualidade de vida da população.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEPA (Australian Environmental Protection Agency). **Atmosphere: Case study – air quality in the Illawarra**. 1997. Disponível em: <[http://www.epa.nsw.gov.au/soe/97/ch1/12\\_3.htm](http://www.epa.nsw.gov.au/soe/97/ch1/12_3.htm)>. Acesso em: 22/01/2003.

ARCEL (Aracruz Celulose S.A.) **Perfil**. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/port/emp\\_aracruz\\_local.htm](http://www.aracruz.com.br/port/emp_aracruz_local.htm)>. Acesso em: 29/05/2002.

ASCE (American Society of Civil Engineers); WEF (Water Environment Federation). **Odor control in wastewater treatment plants**. USA: ASCE and WEF, 1995.

ATKINSON, B. W. The Atmosphere. **A Concise Physical Geography**. Londres: Hulton Educational Publications, 1972.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332p.

BAÊTA, Fernando C.; SOUSA, Cecília F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa – MG: UFV, 1997. 246p.

BOTTCHER, R.W. *et al.* **Designs for windbreak walls for mitigating dust and odor emissions from tunnel ventilated swine buildings.** 2000. Disponível em: <[http://www.bae.ncsu.edu/people/faculty/bottcher/sh2000\\_bottcher\\_rev1.htm](http://www.bae.ncsu.edu/people/faculty/bottcher/sh2000_bottcher_rev1.htm)>. Acesso em: 28/05/03.

BRAILE, Pedro Márcio. **Manual de tratamento de águas industriais.** São Paulo: CETESB, 1993.

BRANDÃO, Mítzi, BRANDÃO, Hypérides. **A árvore: Paisagismo e meio ambiente.** Belo Horizonte: Vitae Comunicação Integrada Ltda, 1992. 168p.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Última alteração: Lei nº 9.960, de 28.1.2000. Brasília, 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/lei%206938.cfm>>. Acesso em: 13/02/2002.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: DESA/UFMG. 1997. 246P.

CORSON, Walter H. **Manual Global de Ecologia:** o que você pode fazer a respeito da crise do meio-ambiente. Tradução de Alexandre Gomes Camaru. São Paulo: Augustus, 1993.

DEE (Departamento Estadual de Estatística). **Informações Municipais do Estado do Espírito Santo.** Vitória, 1994.

FARMER, Andrew M. **The effects of dust on vegetation a review.** 1993. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6VB548XKNY2871&\\_cdi=5917&\\_orig=browse&\\_coverDate=12%2F31%2F1993&\\_sk=999209998&view=c&wchp=dGLbVtbzSkWA&\\_acct=C00](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VB548XKNY2871&_cdi=5917&_orig=browse&_coverDate=12%2F31%2F1993&_sk=999209998&view=c&wchp=dGLbVtbzSkWA&_acct=C00)>

0037901&\_version=1&\_userid=687369&md5=aa5e2866d583c9362c4e9b9b1ea13615&ie=f.pdf>. Acesso em: 22/05/2002.

FIRKOWSKI, Carlos. **Poluição atmosférica e a arborização urbana**. In: Encontro nacional sobre arborização urbana, 3, 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fupef, 1990. 368p. p.14-26.

FOELKEL, C. E. B. **Lignina**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1977.

FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 5ª ed. 243p.

GANONG, William F. Olfato e Paladar. In: **Fisiologia Médica**. 15 ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1993. p.131-136.

GOSTELOW, P. *et al.* **Odour measurements for sewage treatment works**. 2000. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/waters>>. Acesso em: 12/07/20002.

GREY, Gene W; DENEKE, Frederick J. **Urban forestry**. USA: Krieger Publ., 1992. 299p.

GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Tratado de fisiologia medica**. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1997. 1014p.

HOLE, John W. **Human anatomy and physiology**. Dubuque – Iowa: Brown Company Publishers, 1993.

HYNNINEM, Pertti. **Environmental control**. Finlândia: Fapet OY. 1998. 234p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) -. **Base de Informações Municipais - Malha Municipal Digital 1997**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: 10/07/2002.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo demográfico 2000**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em 10/12/03.

INCAPER. **Aracruz**. 2000. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br/aracruz.htm> >. Acesso em: 29/05/2002.

IZARD, Jean-Louis; GUYOT Alain. **Tecnología y Arquitectura**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980. 191p.

KOE, L. C. C. **Hydrogen sulphide odor in sewage atmospheres**. Water Air Soil Pollution. V.24. 287-306, 1989.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. Porto Alegre - RS: PW, 1997. 192 p.

LIRA FILHO, José Augusto de; PAIVA, Haroldo Nogueira de; GONÇALVES, Wantuelfer. **Paisagismo: elementos de composição estética**. Viçosa - MG : Aprenda Fácil, 2002. 173p.

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras** - Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil. Instituto Plantarum Gênero: BOTÂNICA, 2000. V. 1.

MACEDO, Silvio Soares. A vegetação como elemento de projeto. In: **Paisagem e ambiente**. São Paulo: FAUUSP, 1982. Ensaios IV. P 11-41. 195p.

- MARCHIORI, José Newton Cardoso. **Elementos de dendrologia**. Santa Maria: editora UFSM, 1995. 163p.
- MARTINS, Cláudia Rocha; ANDRADE, Jailson Bittencourt de. **Química atmosférica do enxofre (iv): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental**. 2002. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qnol/2002/vol25n2/>>. Acesso em: 28/01/2003.
- MASCARÓ, Lúcia Raffo de. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzatto, 1996. 1ª ed. 199p.
- MASCARÓ, Lúcia Raffo de. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Editora Projeto, 1988. 136p.
- McNAUGHTON, K.G. **Effects of Windbreaks on Turbulent Transport and Microclimate**. 1988. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6T3Y-4914V98-4G1&\\_cdi=4959&\\_orig=browse&\\_coverDate=08%2F31%2F1988&\\_sk=999779999&view=c&wchp=dGLbVzbzSkWA&\\_acct=C000037901&\\_version=1&\\_userid=687369&md5=24fd23bf9bc63ad8804a51c0f5b1e61a&ie=f.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T3Y-4914V98-4G1&_cdi=4959&_orig=browse&_coverDate=08%2F31%2F1988&_sk=999779999&view=c&wchp=dGLbVzbzSkWA&_acct=C000037901&_version=1&_userid=687369&md5=24fd23bf9bc63ad8804a51c0f5b1e61a&ie=f.pdf)>. Acesso em: 22/05/2002.
- MELLANBY, Kenneth. **Biologia da poluição**. Tradução de Lúcia Baungartner Lamberti, Antônio Lamberti. São Paulo: EPU, 1982. 89p.
- MENDONÇA, Sérgio Rolim Mendonça. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa – PB: S. Rolim Mendonça, 1990. 388p.
- MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 416p.

MOTA, Suetônio. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**. Fortaleza: UFC, 1981.

MOUVIER, Gérard. **A poluição atmosférica**. São Paulo: Ática, 1997. 104p.

NEW ZEALAND – MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT. **Draft good practice guide for odour management in New Zealand**. 2002. Disponível em: <<http://www.mfe.govt.nz/publications/air/odour-draft-sep02.pdf>>. Acesso em: 14/02/2003.

ODUM, Eugene P. **Ecology**. USA: Sinauer Associates, 1993.

PINHEIRO, Antônio Lélis; ALMEIDA, Élcio Cruz de. **Fundamentos de Taxonomia e Dendrologia e Tropical**. Viçosa – MG: editora UFV, 2000. Vol. 2. 188p.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre-RS: D. C. Luzzatto Editores, 1985. 240 p.

RIZZINI, Carlos Toledo. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Pulo: Edgart Blucher LTDA, 1971.

ROBERTS, R. B. Trees as biological filters. **Jornal of Arboriculture**, v. 6, n.1, p. 20-23, 1980.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988. 128p.

- SABIJIC, A. *et al.* **Modeling plant uptake of airborne organic chemicals.** 1990. Disponível em: < <http://pubs.acs.org/cgi-bin/archive.cgi/esthag/1990/24/i09/pdf/es00079a004.pdf>>. Acesso em: 18/03/2003.
- SCHAUF, Charles L. *et al.* Os Sentidos Especiais. In: **Fisiologia Humana.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. p. 206-235. 690p.
- SCHREIBER, L. e SCHONHERR J. **Uptake of organic chemicals in conifer needles: Surface adsorption and permeability of cuticles.** Environ. Sci. Technol, 1992. vol. 26. pp 153-159.
- SDACD (South Dakota Association of Conservation Districts). **Improvement of Air and Water Quality Around Livestock Confinement Areas Through the Use of Shelterbelts.** 2001. Disponível em: <<http://www.sd.nacdn.net.org/manure/treesandlivestock.pdf>>. Acesso em: 23/02/2003.
- SEBRAE. **Aspectos físico-demográficos.** Disponível em: <http://www.sebraees.com.br/sebrae/es/portug/infger.htm>. Acesso em: 10/07/2002.
- SEMENT, Juan. **A poluição.** Rio de Janeiro: Salvat, 1979. 144p.
- SMITH, W.H. Pollutant uptake by plants. In: **Air pollution and plant life.** New York: Wiley & Sons, 1984. pp 417-450
- SOUZA, Antônio Washington Albino de. **Fundamentos da teoria de energia solar e do seu uso.** Belo Horizonte: Editora da Fundação Brasileira de Direito Econômico, 1994. 1ª ed. 226p.
- TRIPATHI, Chandra. **Ph.D Thesis.** University of Toronto. 1999.
- VAZZOLER Jr, Hermes. **Introdução à poluição do ar.** Vitória – ES: MEC, 2000.

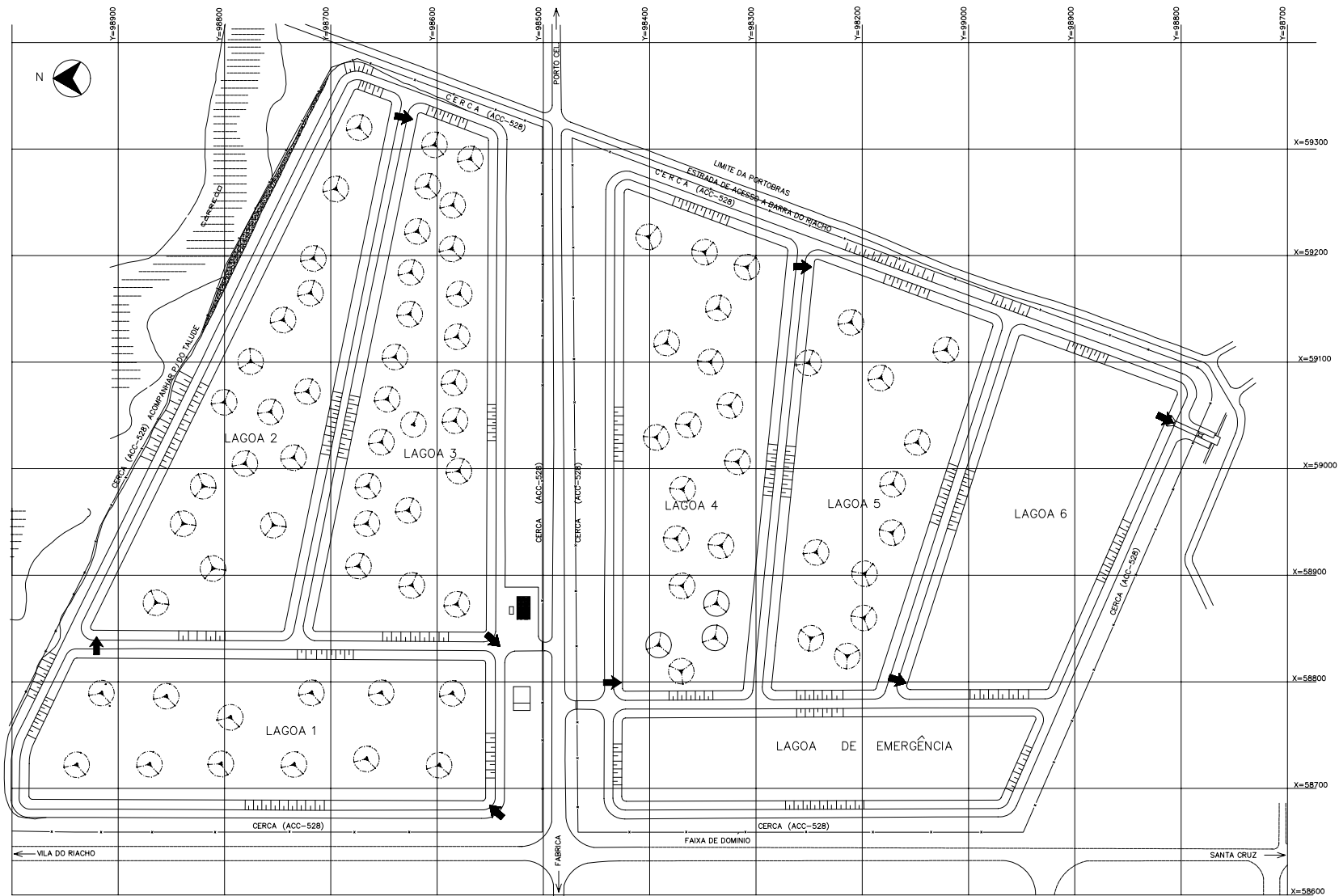


- VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa – MG: Imprensa UFV, 1991. 449p.
- VISSER, André. **The anaerobic treatment of sulfate containing wastewater**. Wageningen – Neth: Wageningen Agricultural University, 1995.
- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. revisada. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 1996. v.1. 243p.
- WANG, Hao; TAKLE, Eugene S. **Numerical simulations of shelterbelt effects on wind direction**. 1995. Disponível em: <[http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/shared/shared\\_main.jhtml;jsessionid=F00ZL3BYMKEPQA3DIKSFFOADUNBIIV0?\\_requestid=576949](http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/shared/shared_main.jhtml;jsessionid=F00ZL3BYMKEPQA3DIKSFFOADUNBIIV0?_requestid=576949)>. Acesso em: 28/05/03.
- WELKE, Birgit *et al.* **Sorption of Volatile Organic Chemicals in Plant Surfaces**. 1998. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/cgi-bin/gap.cgi/esthag/1998/32/i08/pdf/es970763v.pdf>>. Acesso em: 17/01/2004
- WIMBERRY, W. T. **Technical assistance document for monitoring total reduced sulphur (TRS) from kraft pulp mills**. Washington: Environmental Protection Agency, 1985. 198p.
- YAMAGATA, Shigeru. Controle de poluição do ar na indústria de produção de celulose por processo sulfato. In: **curso de especialização em celulose**. Viçosa – MG: ABCTP / UFV, 2000.

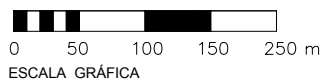
## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

**Planta baixa com o layout das lagoas da estação de tratamento de efluentes da Indústria Aracruz S.A.**

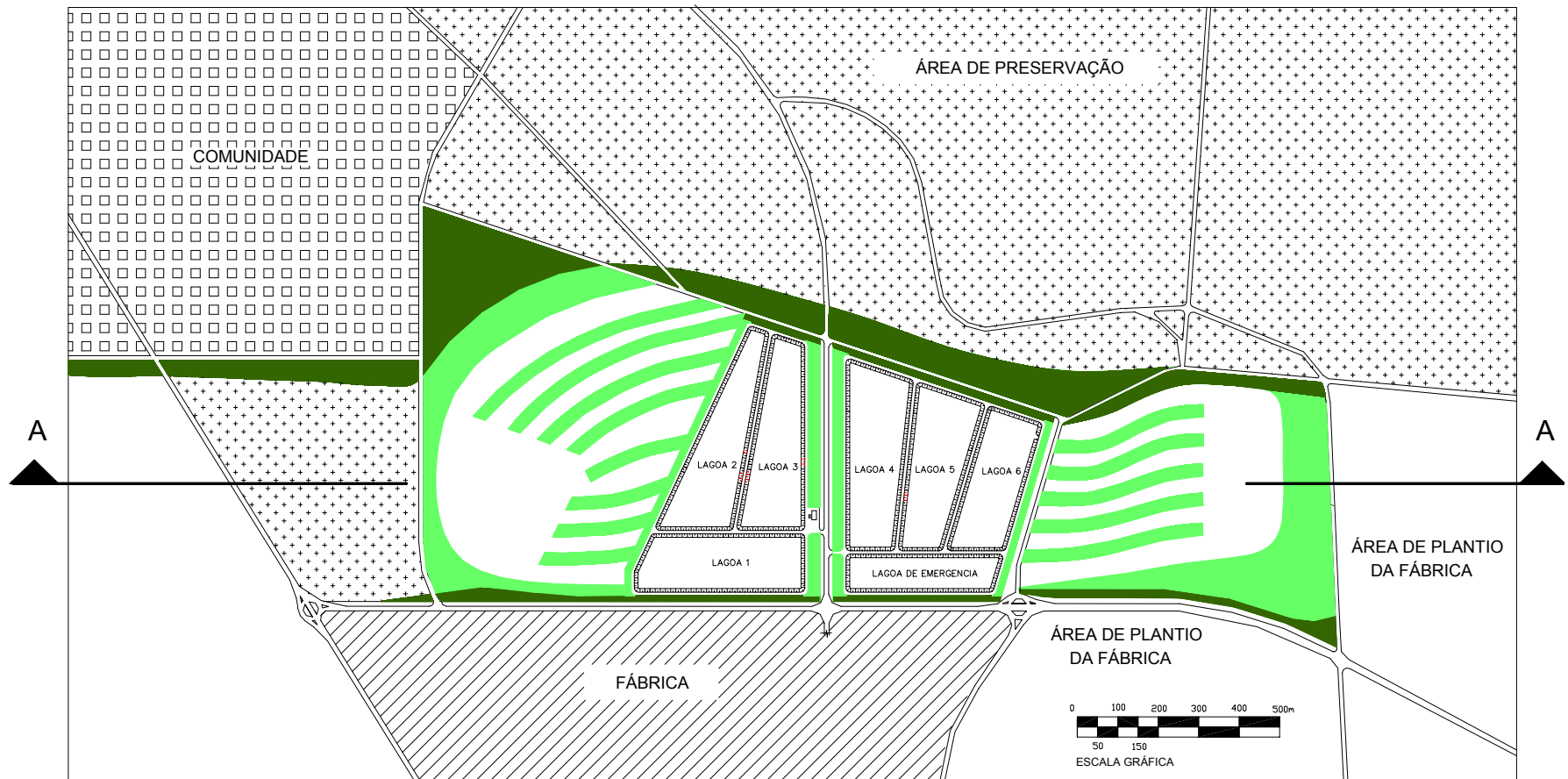


PLANTA BAIXA - LAYOUT

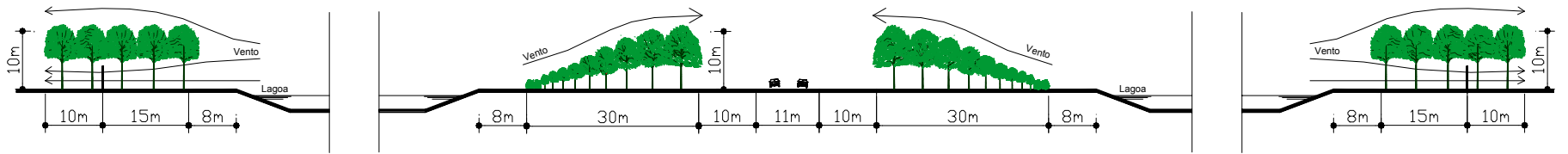


## **ANEXO 2**

**Planta baixa das lagoas  
apresentando a disposição das barreiras vegetais**



PLANTA BAIXA DAS LAGOAS



CORTE ESQUEMÁTICO AA'

## **ANEXO 3**

**Planta baixa com o layout das lagoas da estação de tratamento de efluentes da  
Indústria Aracruz S.A.**



Quadro com as características principais de espécies vegetais para a formação de barreiras visando mitigar odores

Espécies	Altura	Ocorre no ES	Crescimento R, M, L	flexível	Aroma	Densidade da Copa R, M, D	Superfície da folha
<i>Annona coriacea</i> (araticum)	3-6	-	L	-	-	(*)	Pilosa
<i>Apeiba tibourbou</i> (pente-de-macaco)	10-15	-	R	-	-	(*)	Aspera
<i>Araucaria angustifolia</i>	20-50	-	L	-	(*)	M	-
<i>Araucaria angustifolia</i> (pinho)	20-25	(*)	(*)	(*)	X	(*)	(*)
<i>Aspidosperma discolor</i>	15-25	-	L	-	-	R	-
<i>Aspidosperma parvifolium</i> (guatambu)	10-15	X	L	-	-	D	-
<i>Aspidosperma polyneuron</i> (peroba-rosa)	20-35	X	(*)	-	-	R	-
<i>Astrocaryum vulgare</i> (tucumã) palmeira	10-15	-	L	-	-	D	-
<i>Astronium graveolens</i> (pau-ferro))	15-25	X	L	X	-	(*)	-
<i>Bastardiopsis densiflora</i> (algodão)	15-20	-	R	-	-	M	Tomentosa
<i>Cecropia hololeuca</i> (embaúva-prateada)	6-12	X	L	-	-	R	-
<i>Cecropia pachystachya</i> (embaúva)	4-7	-	R	-	-	R	Áspera
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Aguai)	10-20	-	L	-	-	D	-
<i>Connarus regnellii</i> (camboatã-da-serra)	4-7	-	M	-	X	D	-
<i>Dictyloma vandellianum</i> (tingui)	4-7	X	R	-	-	D	-
<i>Ficus guaranítica</i> (figueira-brava)	10-20	-	R	-	-	D	Lactescente
<i>Hieronyma alchorneoides</i> (uricurana)	20-30	-	M	-	-	M	-
<i>Hura crepitans</i> (açacu, arceiro)	27-40	-	(*)	-	-	(*)	Pilosa
<i>Hybiscus pernambucensis</i> (algodão-de-brejo)	3-6	X	R	-	-	D	Tomentosa
<i>Licania tomentosa</i> (oiti)	8-15	X	L	-	(*)	D	Tomentosa
<i>Machaerium villosum</i> (jacarandá-pardo)	20-30	-	M	-	-	M	Tomentosa
<i>Maclura tinctoria</i> (tajuba)	15-30	X	M	-	-	D	exsuda látex
<i>Mezilaurus itaura</i> (itaúba)	5-40	-	L	-	-	(*)	-
<i>Myroxylon balsamum</i> (bálsamo)	5-20	X	L	-	X	(*)	Tomentosa
<i>Myroxylon frondosus</i> (bálsamo-caloriba)	20-25	X	M	-	X	(*)	-
<i>Nectandra lanceolata</i> (canela-fedoranta)	15-25	-	L	-	-	M	Pilosa

Fontes: Lorenzi, 1949; Rizzini, 1971; Marchiori, 1995.

(\*) informação não disponível na literatura consultada

#### Legenda:

- Crescimento – rápido (R), médio (M) e lento (L).
- Densidade da Copa – rala (R), média (M) e densa (D).

Quadro com as características principais de espécies vegetais para a formação de barreiras visando mitigar odores (continuação)

Espécies	Altura	Ocorre no ES	Crescimento R, M, L	flexível	Aroma	Densidade da Copa R, M, D	Superfície da folha
<i>Nectandra puberula</i> (canela-amarela)	10-20	X	L	(*)	X	(*)	-
<i>Ocotea odorifera</i> (assafrão)	15-25	-	L	-	X	D	-
<i>Ocotea porosa</i> (imbuia)	15-20	-	L	-	X	(*)	-
<i>Ocotea pretiosa</i>	8-25	X	L	(*)	X	(*)	-
<i>Pachira aquática</i> (cacau-falso)	6-14	-	L	-	(*)	D	-
<i>Parkinsonia aculeata</i> (espinho-de-jerusalém)	5-10	-	R	-	X	R	-
<i>Piptadenia rigida</i> (angico)	20-30	X	R	-	-	(*)	-
<i>Nectandra puberula</i> (canela-amarela)	10-20	X	L	(*)	X	(*)	-
<i>Pithecolobium incuriale</i> (angico-rajado)	15-25	-	R	-	-	M	-
<i>Pouteria ramiflora</i> (leiteiro-preto)	15-30	-	M	-	-	D	-
<i>Pouteria torta</i> (abiu-piloso)	8-14	X	R	-	-	D	Tomentosa
<i>Rapanea ferruginea</i> (azeitona-do-mato)	6-12	X	R	-	-	-	Tomentosa
<i>Rollinia silvatica</i> (embira)	6-8	X	L	-	-	(*)	-
<i>Schizolobium parahyba</i> (guapuruvu)	10-20	X	R	-	-	(*)	Pilosa
<i>Sciadodendron excelsum</i>	15-25	-	R	-	(*)	D	-
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	6-14	X	R	-	(*)	D	-
<i>Spondias lutea</i> (cajuzeiro)	20-25	-	L	-	-	(*)	-
<i>Styrax camporum</i> (benjoeiro)	6-10	-	L	-	-	D	Pilosa
<i>Styrax ferrugineus</i> (limoeiro-do-mato)	7-14	X	L	-	-	M	Tomentosa
<i>Sweetia fruticosa</i> (sucupira-amarela)	10-18	X	L	-	-	R	Pilosa
<i>Tibouchina granulosa</i> (quaresmeira)	8-12	-	M	-	-	D	Pubescente
<i>Torresea cearensis</i> (amburana)	3-10	X	M	-	X	(*)	Tomentosa
<i>Trema micrantha</i> (pau-pólvora)	5-12	-	R	-	-	D	Áspera
<i>Vernonia discolor</i> (vassourão-preto)	10-15	-	L	X	(*)	M	Tomentosa
<i>Xylopia aromatica</i> (pimenta-de-macaco)	4-6	-	L	-	-	R	-
<i>Xylopia brasiliensis</i> (cortiça)	10-30	X	R	-	X	D	-

Fontes: Lorenzi, 1949; Rizzini, 1971; Marchiori, 1995.

(\*) informação não disponível na literatura consultada

#### Legenda:

- Crescimento – rápido (R), médio (M) e lento (L).
- Densidade da Copa – rala (R), média (M) e densa (D).