

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOINDICADOR DE *PSIDIUM*
GUAJAVA E *PSIDIUM CATTLEYANUM* PARA AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DO AR EM ÁREA INDUSTRIAL**

CAROLINA TRINDADE PERRY

ORIENTADORA – Profa. Dra. Maria Teresa Raya-Rodriguez
COLABORADOR – Dr. Armando Molina Divan Junior

Porto Alegre –2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOINDICADOR DE *PSIDIUM
GUAJAVA* E *PSIDIUM CATTLEYANUM* PARA AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DO AR EM ÁREA INDUSTRIAL**

CAROLINA TRINDADE PERRY

ORIENTADORA – Profa. Dra. Maria Teresa Raya-Rodriguez
COLABORADOR – Dr. Armando Molina Divan Junior

BANCA EXAMINADORA :

Dra. Catarina Pedrozo da Silva
Dr. Paulo Luiz de Oliveira
Dra. Suzana Azevedo Martins

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Ecologia

SUMÁRIO

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	6
Introdução Geral	8
Capítulo I: <i>Psidium guajava</i> como biomonitor da qualidade do ar em área industrial	
Introdução	17
Material e Métodos	19
Resultados	26
Discussão	35
Conclusão	38
Bibliografia	39
Capítulo II: Avaliação do potencial bioindicador de <i>Psidium cattleyanum</i> para avaliação da qualidade do ar quando exposto em área industrial	
Introdução	43
Material e Métodos	45
Resultados	50
Discussão	54
Conclusão	57
Bibliografia	58
Considerações Finais	60
Bibliografia Introdução Geral	61
Normas da Revista	64

AGRADECIMENTOS

- Ao programa institucional de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.
- À Refinaria Alberto Pasqualini REFAP S/A pela manutenção do projeto de biomonitoramento da qualidade do ar no qual se insere o presente trabalho.
- À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de realização do curso de mestrado.
- À Silvestrini Comercio e Produção de mudas pelas mudas doadas ao projeto.
- À Prof. Dra. Maria Teresa Raya Rodriguez pela ajuda e orientação.
- Ao Dr Armando Molina Divan pela colaboração e participação ativa na execução do trabalho.
- Aos meus colegas de laboratório: Claudia Clebsch, Fábio Jones e Magali Rodrigues pela ajuda em laboratório e auxílio nas coletas a campo.
- Aos meus pais pela educação e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o potencial bioindicador de *Psidium guajava* e *Psidium cattleyanum* para avaliação da qualidade do ar em área industrial no município de Canoas, Brasil, estas espécies foram expostas em monitoramento ativo em nove pontos de amostragem, sendo cinco internos e quatro externos a área de influência de uma área industrial e mais um ponto controle localizado no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, distando 27 Km da área de estudo. Foram realizadas cinco exposições para *P. guajava* e quatro para *P. cattleyanum* que coincidiram com as estações de inverno (2005, 2006), primavera (2005), verão (2006) e outono (2006), durante o período de um ano e três meses de monitoramento. A exposição foi feita em estandes padronizados a um metro de altura do solo, com suplementação automática de água e proteção contra o excesso de radiação. Após cada três meses de exposição foram medidos o crescimento relativo em altura, a área foliar e a biomassa total, nas duas espécies expostas. Em *P. cattleyanum* foi analisado também a formação de ácido malonaldeído (MDA) nas folhas primárias e em *P. guajava* foi analisado a fotossíntese máxima e a eficiência carboxilativa *in vivo*, o teor de níquel e de enxofre em folhas secas, previamente lavadas. As medidas de crescimento, área foliar e biomassa não apresentaram diferença significativa em relação ao controle para as duas espécies, o que indica que não houve danos visíveis devido à poluição atmosférica. A formação de MDA mostrou diferença significativa na coleta de verão e inverno, em sua maioria, para os pontos internos. Os teores de enxofre apresentaram valores entre 0,15 e 0,41% ficando abaixo dos níveis basais para

plantas terrestres, observando-se diferenças significativas em relação ao ponto controle, para as coletas de verão e primavera, apenas para dois pontos internos. Os teores de níquel apresentaram valores entre 0,2 e 3 $\mu\text{g g}^{-1}$, também ficando abaixo dos níveis basais para plantas terrestres, mas apresentaram diferenças significativas em relação ao ponto controle para todas as coletas. Os pontos que apresentaram diferenças para o teor de níquel em relação ao controle foram aqueles localizados internamente na área industrial a menos de 1,5 km da potencial fonte emissora de níquel, excetuando-se a coleta de verão onde a maioria dos pontos apresentou diferenças significativas em relação ao ponto controle. A fotossíntese máxima e a eficiência carboxilativa não apresentaram diferenças significativas em nenhuma coleta.

Palavras chaves: Biomonitoramento, Níquel, Enxofre, Poluição Atmosférica, *Psidium guajava*, *Psidium cattleianum*

ABSTRACT

In order to evaluate the bioindicator potential of *Psidium guajava* and *Psidium cattleianum* to air quality monitoring, these species were exposed in an industrial area in the city of Canoas, Brazil, in ten different sites, five inner, four outside of industrial area and one control site placed at Federal University of Rio Grande do Sul. The exposures coincident with the season of winter (2005, 2006), spring (2005), summer (2006) and fall (2006) amount five exposures for *P. guajava*, and four exposures for *P. cattleianum*. The exposition was made in a standard frame 1,0 m above the ground, with automatic supply of water and protection to excessive radiation. After three months of exposure it was assessed total biomass, leaf area and height relative growth rate for both species. For *P. cattleianum* it was assessed the content of malondialdehyde (MDA) in leaves, and for *P. guajava* it was assessed the nickel and sulfur content, maximum photosynthesis and carboxylation efficiency. The evaluate of total biomass, leaf area, height relative growth rate did not show any significant differences for both species, that indicate did not occur visual damage due the air pollution. MDA showed significant differences in summer and winter, mostly for inner sites. The sulfur content showed values between 0,15 and 0,41 %, below the basal level for terrestrial plants and showed significant differences in relation of control for spring and summer for three inner sites. The values of Ni showed between 0,2 and 3 $\mu\text{g g}^{-1}$ and they were below of basal level for terrestrial plants, but showed significant differences in relation to control site for all seasons. The inner sites that showed significant differences were placed about 1,5 km from potential source emission of

Ni, except in the summer whose distribution of Ni values was higher and the most of the sites showed significant differences in relation to control site. The maximum photosynthesis and the carboxilation efficiency did not show significant differences in relation to control site.

Keys words: Biomonitoring, Nickel, Sulphur, Atmospheric, Pollution, *Psidium guajava*, *Psidium cattleyanum*.

INTRODUÇÃO GERAL

O problema da poluição sobre os ecossistemas tem se tornado evidente nas últimas décadas juntamente com a crescente preocupação dos efeitos danosos que esta causa no meio ambiente e conseqüentemente na saúde humana, tornando assim indispensáveis estudos que avaliem o impacto ambiental de fontes poluidoras dos mais variados tipos.

Com a contínua expansão do processo de industrialização nos países em desenvolvimento são cada vez mais comuns áreas que recebam a influência de poluentes de origem industrial.

As principais emissões atmosféricas oriundas de processos industriais caracterizam-se por apresentar as seguintes substâncias: óxidos de enxofre (SO_x), de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono, hidrocarbonetos e materiais particulados (Mariano, 2005; Baird, 2002).

O enxofre é um elemento presente em combustíveis fósseis, seu percentual varia de acordo com a origem do mesmo. As indústrias podem emitir compostos de enxofre no ar diretamente como dióxido de enxofre (SO_2), ou como sulfeto de hidrogênio (H_2S). Os veículos automotores movidos a derivados de petróleo também são fontes de emissão de enxofre. Na atmosfera o SO_2 pode ser oxidado a ácido sulfúrico, causador da chuva ácida (Manaham, 1984).

O NO_x é sempre formado quando um combustível fóssil de qualquer tipo for queimado. Na atmosfera o NO_x sofre diversas reações químicas. As principais espécies reativas dos óxidos de nitrogênio na troposfera são o NO , NO_2 e HNO_3 .

Estas espécies são cíclicas entre si, e rapidamente são convertidas umas nas outras (Vanloon & Duffy, 2000).

Já os poluentes metálicos estão associados geralmente a emissões de materiais particulados atmosféricos, os quais podem se depositar nas estruturas vegetativas das plantas por deposição seca ou úmida (Mariano 2005).

O efeito da poluição atmosférica sobre os organismos já é conhecido desde o século XIX. Nylander (1866) (*apud* Arndt & Scheweizer, 1991) encontrou alterações nas comunidades líquênicas epifíticas com o desaparecimento das espécies mais sensíveis nas áreas poluídas no centro Paris. Acima de um determinado limiar as substâncias atmosféricas podem ser nocivas aos seres vivos. Nos vegetais causam as mais variadas respostas bioquímicas, fisiológicas e morfológicas. Quando em excesso podem afetar diversos processos bioquímicos nas células, podendo causar danos ao metabolismo celular, mediante alterações no funcionamento e síntese de enzimas (Treshow & Anderson, 1989), assim como redução na produtividade e no crescimento (Zaffari & Oliva, 1989).

Algumas destas alterações são específicas a determinados poluentes, visto que estes podem ser absorvidos, incorporados, transformados ou acumulados de formas diferenciadas, já a maioria das alterações não são específicas devido a quantidade de poluentes diversos presentes na atmosfera e seu efeito sinérgico sobre os organismos (Treshow & Anderson, 1989).

Nas plantas o influxo de SO_2 nas folhas é predominantemente difusivo e segue o mesmo caminho do CO_2 através dos estômatos. Ao se difundir na fase gasosa na folha o SO_2 se dissolve na fase aquosa do apoplasto, reagindo com a água da parede celular para formar hidrogenossulfito e sulfito. No apoplasto o

sulfito sofre uma rápida conversão metabólica a sulfato, o sulfato é reduzido a sulfeto sendo imediatamente incorporado a moléculas de aminoácido que contém enxofre como metionina, cistina e cisteína (Rennenberg & Herschbach, 1996).

Em atmosferas com altas concentrações de enxofre a contínua absorção de SO_2 pelas plantas, pode superar a capacidade de desintoxicação do metabolismo conduzindo nestes casos a danos foliares (Larcher, 2000).

A absorção de NH_3 e NO_x pelas plantas é conduzida pelo gradiente de concentração entre a atmosfera e o mesófilo, e na maioria das vezes, mas não sempre, é diretamente determinado pela condutância estomática. Seus efeitos nas plantas a altas concentrações incluem a diminuição da condutância estomática e a diminuição na biomassa total, bem como alterações no funcionamento de enzimas entre outros (Grennfelt, 1983). Uma das propriedades do NO_2 é o sinergismo com o SO_2 , que sob altas concentrações podem causar injúrias visíveis nas folhas via decomposição química dos lipídeos e plasmólise celular (Treshow & Anderson, 1989).

O processo de difusão de metais através da cutícula e a absorção pelas células foliares parece estar envolvido com o movimento do metal para o interior da planta indicando que a cutícula situada nas células estomáticas é especialmente permeável aos íons metálicos (Bruno & Werner, 1993). Posteriormente por processo ativo, os mesmos atravessam a membrana plasmática atingindo o interior da célula por gradiente de concentração (Malavolta, 1985).

A toxicidade dos metais em geral consiste na redução da fotossíntese e das taxas transpiratórias, bem como em alterações de rotas metabólicas. A absorção em excesso de metais, decorrente da poluição ambiental, pode levar a um acúmulo destes nos tecidos vegetais (Bruno & Werner, 1993). No caso do níquel, micronutriente essencial para plantas (Eskew et al., 1984), seu excesso pode causar efeitos fitotóxicos (Spiegel, 2002; Seregin & Kozhevnikova, 2006). Entre alguns efeitos mais específicos podemos citar distúrbios nutricionais como o aumento da absorção de fósforo e a redução na absorção de cálcio e magnésio (Paiva et al., 2003).

Devido as altas concentrações existentes, no início da era da industrialização, utilizavam-se os danos visuais nas folhas como critério para avaliar a ação dos poluentes atmosféricos sobre as plantas. Posteriormente com um melhor controle das emissões e a consequente redução das concentrações poderiam ser encontrados efeitos mais sutis. Deste modo alterações nos processos fisiológicos, genéticas e na composição química das plantas, podem ser utilizadas para determinar impactos de longa duração, por demonstrarem antecipadamente em relação aos sintomas visuais que as condições atmosféricas apresentam qualidade alterada (Bender et al. 1991; Kong et al. 1999; Rodrigues et al. 1997).

Nos organismos vegetais a fotossíntese é um dos primeiros processos a ser alterado pela ação de poluentes, ocorrendo sua redução, via de regra, antes que a planta apresente sintomas macroscópios (Treshow & Anderson 1989). A fotossíntese é bastante sensível a condições ambientais adversas (Treshow & Anderson 1989).

Numerosos estudos sobre o declínio de florestas têm comprovado a ação deletéria dos poluentes aéreos sobre o processo fotossintético (Pfanzt et al. 1994).

Outra forma de se avaliar o estresse à poluição atmosférica é a formação do ácido malonaldeído (MDA), produto final da peroxidação de lipídeos, o qual é freqüentemente usado como indicador de mecanismo de injúria celular causada por danos às membranas (Ranieri et al. 1996; Canãs et al, 1997). Em geral, as membranas são sensíveis a processos oxidativos gerados por radicais livres. Ozônio, óxidos de nitrogênio, enxofre e metais também podem ser incluídos entre os poluentes atmosféricos que podem iniciar estas reações (Menzel, 1976; Shraddha et al. 2004). Estas reações indicam que o estresse oxidativo pode ser causado por diversos poluentes, sendo então uma resposta não específica a um determinado poluente em particular.

Em contraste com o uso de métodos físico-químicos para a avaliação da quantidade de poluentes atmosféricos, o emprego de indicadores biológicos permite uma avaliação direta dos efeitos a que estão expostos os organismos vivos, de modo que dados biológicos podem ser usados para estimar o impacto no ambiente.

De acordo com Arndt & Schweizer (1991), bioindicadores são organismos ou comunidades que respondem à poluição ambiental, alterando suas funções vitais ou acumulando toxinas. Estes organismos podem ser usados para detectar alterações ambientais provocadas pelas atividades humanas, as quais podem ser perigosas também para o próprio homem. A bioindicação envolve a decodificação de informações de biosistemas com o propósito de avaliar uma dada área (Arndt & Schweizer, 1991).

Existem dois tipos básicos de bioindicadores, os de acumulação, considerados organismos resistentes e que reagem ao estresse pela acumulação de substâncias em seus tecidos, e os bioindicadores de respostas, que sofrem alterações morfológicas, fisiológicas e genéticas, considerados então, como organismos sensíveis (Larcher, 2000).

A utilização de espécies vegetais em estudos da qualidade do ar é uma prática adotada há algumas décadas, sobretudo na Europa e Estados Unidos, no entanto, o emprego de espécies em países em desenvolvimento é ainda incipiente.

Psidium cattleianum Sabine (araçá) segundo Klumpp et al. (2002) é indicador de resposta de longo prazo apresentando alteração na alocação da biomassa e sintomas de injúrias visíveis. *Psidium guajava* Sabine (goiabeira) demonstrou ser bioindicador de acumulação e resposta através de alterações na morfologia, biomassa e metabolismo (Pandey, 2005). *P. guajava* também se apresenta bem adaptada às condições de clima das regiões sul e sudeste do Brasil possuindo capacidade distinta para acumular poluentes atmosféricos, especialmente compostos de flúor e enxofre, assim como alterações significativas no crescimento e metabolismo (Klumpp et al. 2002). Estes autores também sugerem que a utilização de cultivares melhoradas possibilite a seleção de uma cultivar definida que possa exibir respostas mais evidentes do que em seu trabalho.

O objetivo do presente trabalho foi realizar o biomonitoramento da qualidade do ar em área industrial durante o período de quinze meses, através de medidas de fotossíntese, formação de MDA, acumulação de níquel e enxofre, taxa de crescimento relativo em altura, biomassa e área foliar nas cultivares *P. guajava* “Paluma” e *P. catleyanum* “Irapuã”, com vistas a avaliar o potencial das duas espécies como bioindicadores de acumulação e de resposta.

CAPÍTULO I

PSIDIUM GUAJAVA COMO BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR EM ÁREA DE INFLUÊNCIA INDUSTRIAL

Resumo

Com o objetivo de se avaliar o potencial de *Psidium guajava* como bioindicador da qualidade do ar, mudas desta espécie foram expostas em área industrial em nove pontos de amostragem, sendo cinco internos, quatro externos e um ponto controle localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As exposições duraram cerca de três meses cada e coincidiram com os períodos estacionais de inverno (2005 e 2006), primavera (2005), verão (2006) e outono (2006), totalizando cinco exposições. Foram avaliadas a biomassa total, a área foliar, a taxa de crescimento relativo em altura e os teores de níquel e enxofre, além da fotossíntese máxima e a eficiência carboxilativa *in vivo*. *P. guajava* mostrou ser eficiente acumuladora de Ni, uma vez que foram observadas diferenças significativas dos diferentes pontos internos em relação ao ponto controle para todos os períodos de exposição. O teor de enxofre só demonstrou diferenças em pontos internos para duas exposições. A biomassa, a área foliar, a taxa de crescimento, a fotossíntese máxima e a eficiência carboxilativa não apresentaram diferença significativa em nenhuma coleta.

Abstract

In order to evaluate the bioindicator potential of *Psidium guajava* to air quality monitoring, the specie was exposed in an industrial area, in nine different sites, five inner, four outside industrial area and a control site placed at Federal University of Rio Grande do Sul. The exposures during about three months coincident with the season of winter, spring, summer and fall amount five exposures. It was assessed, total biomass, leaf area, height relative growth rate, nickel and sulfur content, maximum photosynthesis and carboxilation efficiency. *P. guajava* showed be a good accumulative indicator for Ni, such it showed significant differences between the site inners in relation of control site, and sulfur content showed significant differences in relation of control for spring and summer for three inner sites. The evaluate of total biomass, leaf area, height relative growth rate, the maximum photosynthesis and the carboxilation efficiency did not show significant differences in relation to control for any season.

INTRODUÇÃO

O problema da poluição atmosférica já é um consenso global, atingindo também países em fase de industrialização que carecem de planejamento ambiental e recursos financeiros para o monitoramento e controle das emissões atmosféricas. O biomonitoramento realizado com espécies vegetais oferece vantagens, já que estes organismos podem ser usados para detectar alterações ambientais provocadas pelas atividades humanas a custos relativamente baixos (Arndt & Scheweizer, 1991).

No presente estudo tem-se como fonte industrial uma refinaria. As emissões atmosféricas do processo de refino de petróleo incluem em sua maioria emissões fugitivas, podendo haver fontes pontuais provenientes dos processos produtivos que podem emitir particulados que contenham Níquel (Ni). Além de poluentes atmosféricos como os óxidos de enxofre (SO_x), de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos e os materiais particulados (Mariano, 2005; Baird, 2002).

Nos vegetais, podemos avaliar o impacto da poluição atmosférica através de respostas fisiológicas, bioquímicas, morfológicas e através da acumulação de substâncias (Larcher, 2000). Extensos trabalhos têm sido realizados para se verificar o efeito dos poluentes atmosféricos sobre os vegetais (Jeremy et al., 1999; Chupakhina et al. 2004; Cape, 2003; Jasan et al. 2004).

Entretanto deve-se levar em consideração que nem todas as espécies vegetais apresentam o mesmo grau de sensibilidade aos contaminantes ambientais, sendo comum encontrar nas plantas graus de tolerância diferenciada (Ruthsatz & Wey, 1991). Este grau de tolerância, juntamente com características genéticas que determinam o nível de acumulação de substâncias é que irá determinar se uma espécie é boa acumuladora ou se ela é uma espécie sensível (Treshow & Anderson, 1989; Larcher, 2000; Arndt & Scheweizer 1991; Bruno & Werner, 1993).

O uso de espécies tropicais em projetos de biomonitoramento é ainda incipiente. *P. guajava* já foi testada como bioindicador na Índia em monitoramento passivo apresentando diferenças significativas no teor de níquel em relação aos pontos de amostragem (Madhoolika & Jyoti, 2000). Pandey, (2005) constatou redução de biomassa e diminuição na razão parte aérea/raiz em *P. guajava* quando exposta em monitoramento ativo.

Em Cubatão, Brasil, *P. guajava* apresentou aumento dos níveis de substâncias antioxidantes (Klumpp et al., 1998) e mostrou ser uma boa acumuladora de S, N e F⁻, além de apresentar alterações bioquímicas, sugerindo que a mesma pode ser usada como um bioindicador acumulativo (Klumpp et al., 2002).

Com o objetivo de avaliar o potencial bioindicador de *P. guajava* para as condições de clima e poluição atmosférica em área industrial, esta espécie foi usada em biomonitoramento ativo por um período de quinze meses.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso aborda uma área industrial (Fig. 1) localizada na divisa entre os municípios de Canoas (29°55'07" S 51°10'54" O) e Esteio (29°49'16" S 51°08'09" O) junto a rodovia BR 116, na região fisiográfica da Depressão Central no estado do Rio Grande do Sul. Topograficamente, o terreno é plano e com uma cota altimétrica média de 22 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical, *Cfa* segundo o sistema de Köppen (Moreno, 1991). Possui uma temperatura amena, com média anual máxima de 24⁰C e média mínima de 15⁰C, a temperatura máxima absoluta é de 40⁰C e a mínima absoluta de 0⁰C, a precipitação média pluviométrica anual é de 1.555 mm (Silva, 1989).

O biomonitoramento foi feito em nove pontos de exposição com três repetições cada. A localização foi escolhida em relação à direção preferencial do vento (NO), sendo os pontos assim distribuídos: quatro internos na área industrial, que sofrem influência direta, e quatro externos à área industrial, que sofrem influência indireta. Além de um ponto controle localizado no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (29°30'04" S 8°51'07" O), distando cerca de 27,5 km da fonte.

A identificação, a localização exata dos pontos e a distância da fonte potencial de particulados residuais do sistema de captação do catalisador utilizado no processo de craqueamento fluidizado de gasóleo, encontram-se na Tabela 1.

Nos pontos de amostragem quatro (P4), localizado em Esteio, e nove (P9), em Canoas, haviam estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, que mediam em tempo contínuo as concentração de SO₂, NO₂ e variáveis meteorológicas, as quais nos forneceram um quadro da qualidade do ar da região (Tabela 2).

Tabela 1

Localização e identificação dos pontos de exposição dos bioindicadores vegetais.

Pontos de amostragem	Localização	Coordenadas geodésicas	Distância da fonte (m)
P1	Ponto interno	29°52'08" S 51°08'46" O	1.334
P2	Ponto interno	29°52'03" S 51°10'12" O	1.025
P3	Ponto interno	29°52'15" S 51°10'10" O	912
P4	Ponto externo*	29°51'26" S 51°10'42" O	2.457
P5	Ponto interno	29°52'27" S 51°09'58" O	631
P6	Ponto interno	29°52'16" S 51°09'37" O	70
P7	Ponto externo	29°51'48" S 51°10'19" O	1.193
P8	Ponto externo**	29°52'07" S 51°10'46" O	1.895
P9	Ponto externo*	29°23'01" S 51°08'40" O	2.036
P10	Ponto controle	30°04'28" S 51°07'25" O	27.643

* – P4 e 9 junto às estações de monitoramento automática.

** – P8 em frente à refinaria junto à rodovia BR116.

Tabela 2

Concentração média de dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e temperatura média medidos nas estações automáticas do P9 em Canoas e P4 em Esteio.

Período	SO ₂ (µg m ⁻³)		NO ₂ (µg m ⁻³)		Temperatura (°C)	
	Estação P9	Estação P4	Estação P9	Estação P4	Estação P9	Estação P4
Inv - 05	3,3	4,9	-	18,7	16,4	19,2
Pri - 05	3,0	5,9	20,8	20,3	22,0	23,6
Ver - 06	12	12,0	16,4	18,9	25,7	-
Out - 06	6,5	7,1	33,6	25,0	17,3	-
Inv - 06	7,2	25,6	48,2	18,2	17,7	-

A espécie escolhida para o monitoramento da área da refinaria foi *P. guajava* Sabine (MYRTACEAE), cultivar Paluma. Como *P. guajava* não possui um protocolo de padronização, esta foi feita levando em consideração a bibliografia já existente (Klumpp et al., 1998; Klumpp et al., 2002). A escolha de uma cultivar específica pode assegurar a uniformidade das plantas e a confiabilidade dos dados.

As mudas com cerca de 30 cm de altura e 6 meses de idade foram adquiridas diretamente de um produtor certificado (Agro-Milhora, Brotas, SP). As mesmas foram transferidas para vasos plásticos de cinco litros com solo padronizado, onde permaneceram por um período de adaptação de 15 dias antes de serem expostas.

Para a sanitização das mudas foi feita a aplicação de um inseticida piretróide (Lambdacyalothrin) a uma dose de $2,5 \text{ ml L}^{-1}$ e três borrifadas por planta. A exposição foi feita em expositores padronizados de ferro galvanizado a uma altura de 1 m acima do solo e suplementação automática de água, conforme Arndt & Schweizer (1991). Os expositores foram cobertos com uma malha do tipo sombrite (corte de 30% da radiação), nas faces voltadas para o leste, norte e oeste, para evitar o excesso de radiação.

As plantas permaneceram expostas por um período de quinze meses, sendo cinco exposições que duraram cerca de três meses cada coincidindo com dois períodos estacionais de inverno e um período estacional de primavera, verão e outono, nas seguintes datas: 15/07/05 a 27/10/05, 27/10/05 a 09/01/06, 09/01/06 a 19/04/06, 19/04/06 a 10/07/06 e 10/07/06 a 17/10/06.

Após as exposições, foram avaliadas a eficiência carboxilativa (EC) e a fotossíntese máxima (A_{max}) *in vivo*, a biomassa total, o crescimento relativo em altura, a área foliar e a acumulação de Ni e S nos tecidos foliares das plantas.

As medidas de fotossíntese foram realizadas em laboratório nas manhãs dos dias seguintes após as exposições. Os valores de A_{max} e EC foram estimados a partir de parâmetros obtidos pelo ajustamento da curva de resposta da fotossíntese em função da concentração interna de CO_2 (curva A/C_i), adaptada da equação proposta por Prado & Moraes (1997):

$$A = A_{max} [1 - e^{-k(C_i - P_{CCO_2})}]$$

Onde:

A = fotossíntese líquida instantânea.

A_{max} = fotossíntese líquida máxima.

k = constante de proporcionalidade associada à concavidade da curva.

C_i = concentração interna de CO_2 .

P_{CCO_2} = ponto de compensação de CO_2 .

Para a determinação da curva A/C_i foi utilizado um analisador de gases por infravermelho (CIRAS-2, PPSystems), com radiação fotossinteticamente ativa de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura da câmara a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. As medições foram realizadas no período das 8 às 15 horas, sempre em folhas do terceiro nó de cada planta por serem consideradas folhas adultas completamente expandidas.

Para a análise do teor de Ni e S foi usada a totalidade das folhas de cada planta. As folhas foram previamente lavadas em água corrente e enxaguadas três vezes com água destilada. Após secas em estufa durante sete dias a 70 °C, as folhas foram moídas em um moinho de faca (Marconi, M048) e homogeneizadas.

A análise do teor de níquel foi realizada com 0,5 g de peso seco das folhas, transferidas para tubos de teflon onde foi adicionado 5 mL de ácido nítrico (70%) e 3 mL de água tridestilada e digeridas em forno de microondas (CEM, MDS-2000). Depois de atingir a temperatura ambiente as amostras foram filtradas e avolumadas a 50 mL com água tridestilada; a leitura foi feita por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin Elmer SIMAA 6000).

Para avaliar o potencial de acumulação de *P. guajava* foi calculado um fator de acumulação do teor de níquel, obtido pela razão entre o teor de Ni nas amostras dos diferentes pontos e o teor das plantas do ponto controle, conforme Fakayode & Onianwa, (2002).

O teor de enxofre foi avaliado por meio de um analisador elementar (Leco SC-132), onde foram usadas 0,3 g de peso seco das folhas, a calibração do aparelho foi feita com padrão de alfafa Leco (324-328 %S) e a leitura expressa em percentuais de enxofre total.

A área foliar total foi medida em todas folhas das plantas por meio de um medidor de área foliar (Licor LI-3000), sendo que cada folha foi medida três vezes para se obter uma média. A taxa de crescimento relativo em altura foi obtida pela razão entre a diferença em altura das plantas antes e depois de cada coleta pela altura inicial, segundo (Hunt, 1990). A biomassa de cada planta foi separada em

frações de folhas, caule e raiz, lavadas em água corrente, secas em estufa por sete dias a 70°C e pesadas em balança semi-analítica (Sartorius, 2006 MP).

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA dois fatores (ponto de amostragem e período de exposição), seguida do teste de Tukey para comparação entre os pontos e entre os períodos de exposição e do teste de Dunnett para comparação em relação ao ponto controle quando encontradas diferenças significativas para $\alpha = 0,05$. Quando necessário, para obter a normalidade e homocedasticidade, foi adotada a transformação logarítmica dos dados. As médias das coletas dos teores de Ni e S foram ordenadas pela distância euclidiana entre os pontos amostrais seguida da análise das coordenadas principais, os dados foram previamente centralizados e normalizados dentro de variáveis e a significância dos eixos foi avaliada pela autoamostragem bootstrap.



Figura 1: Área industrial de estudo em Canoas Rio Grande do Sul (RS), Brasil, com a localização dos pontos de exposição. CFG = unidade de craqueamento fluizado de gasóleo.

RESULTADOS

Os resultados obtidos da exposição das plantas estão apresentados na Figura 2 para as médias de área foliar, Figura 3 para as médias de biomassa e Figura 4 para as médias da taxa de crescimento relativo em altura. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores de Amax de EC, respectivamente.

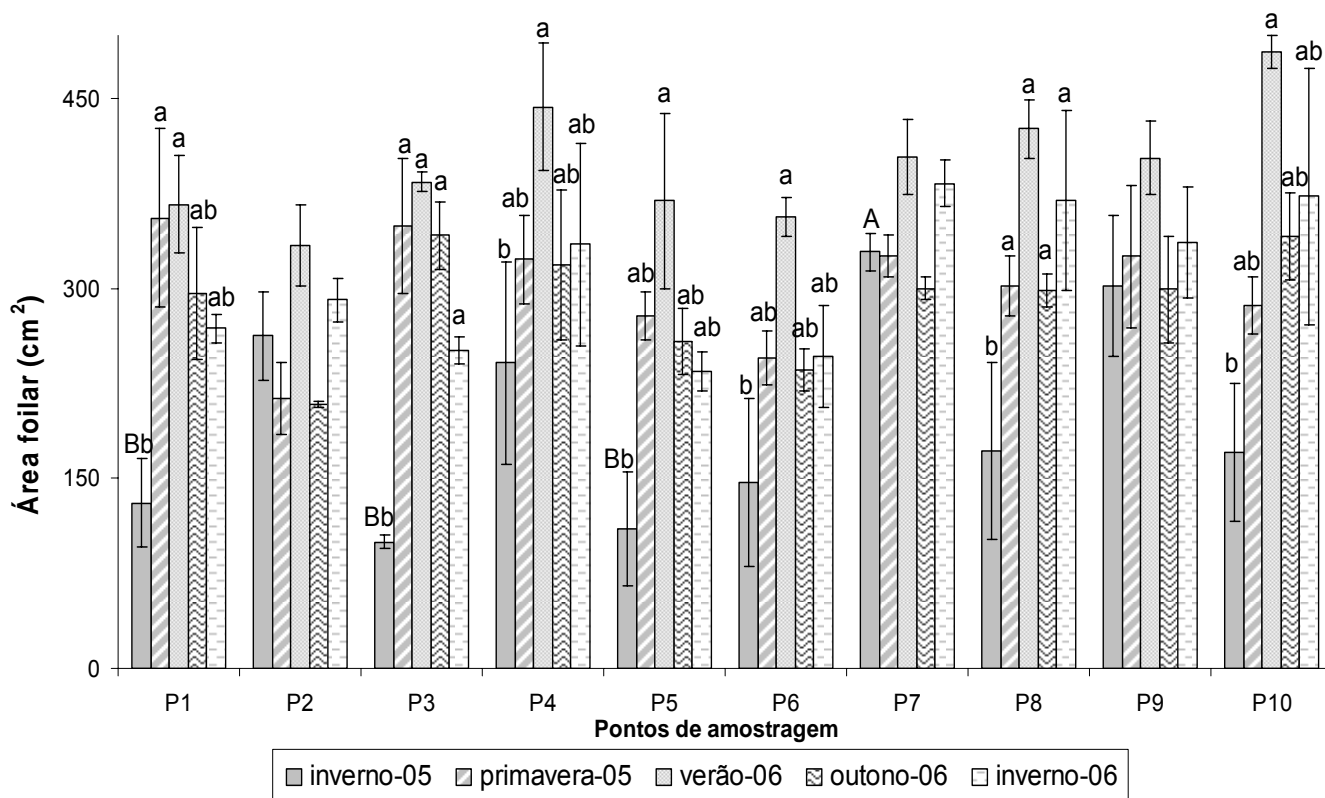


Figura 2: Área foliar de *P. guajava*. Barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey para $P < 0,001$. Letras maiúsculas comparam pontos dentro do mesmo período e letras minúsculas comparam pontos nos diferentes períodos. P10 = ponto controle

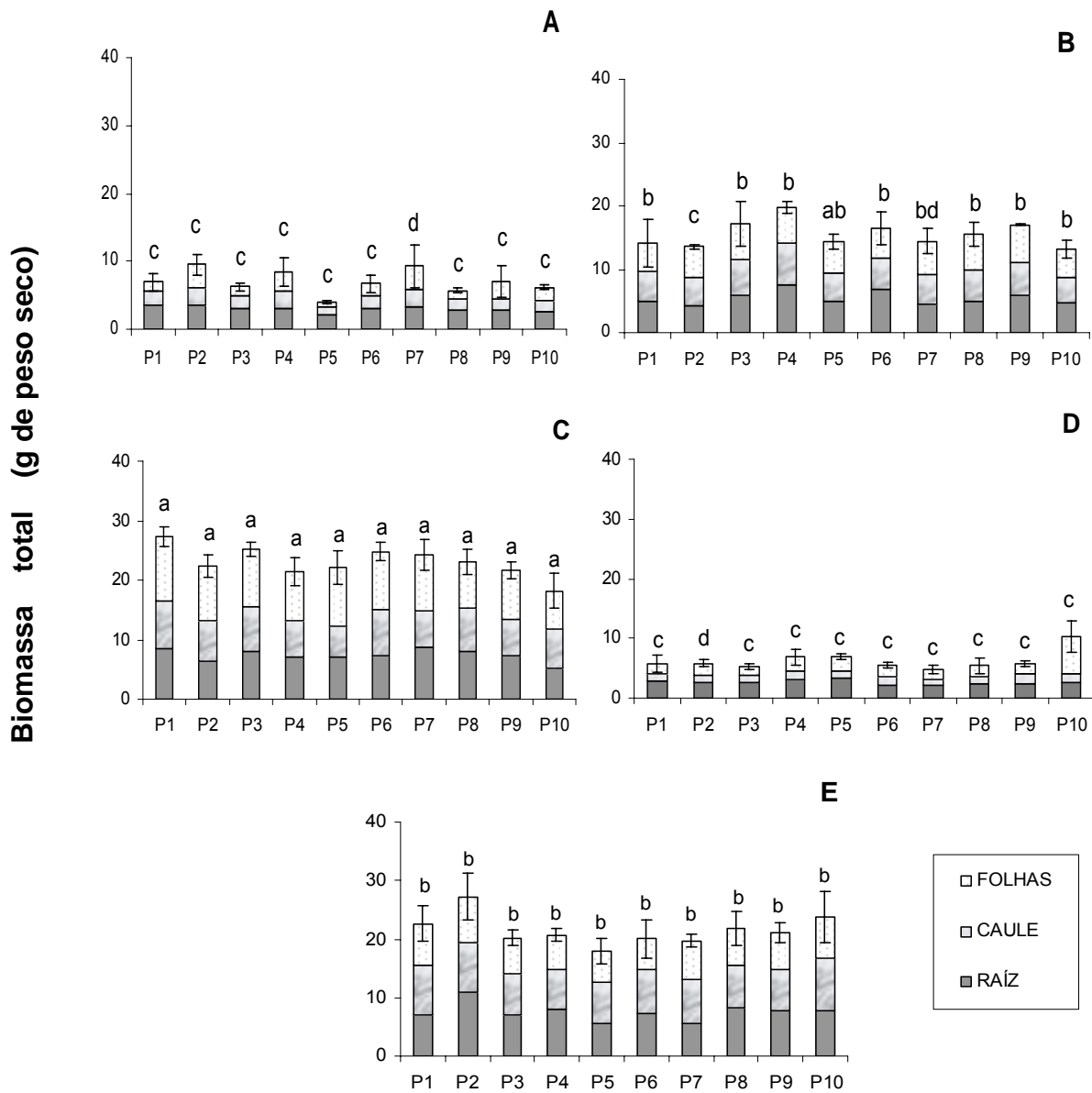


Figura 3: Biomassa total de *P. guajava*. Barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$. A= inverno 2005, B = primavera 2005, C = verão 2006, D = outono 2006, E = inverno 2006. P10 = ponto controle.

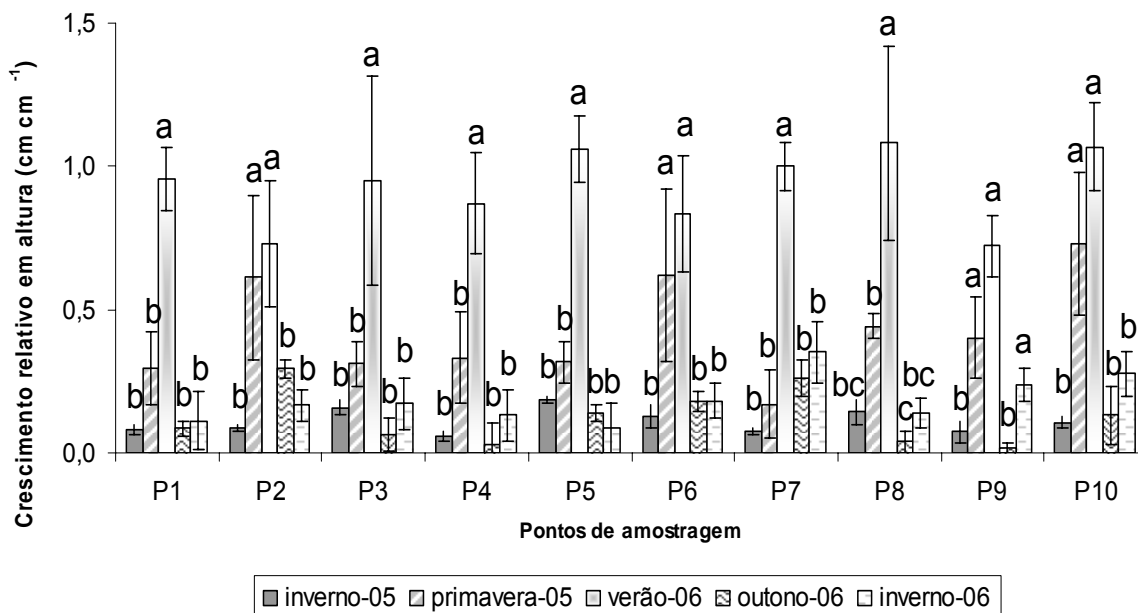


Figura 4: Crescimento relativo de *P. guajava*. Barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$. P10 = ponto controle

Tabela 3

Fotossíntese máxima medidas em *P. guajava* expostas em área industrial.

Pontos	Inverno 2005	Primavera 2005	Verão 2006	Outono 2006	Inverno 2006
P1	10,2 ± 0,8 a	8,6 ± 0,7 a	15,8 ± 0,7b	14,1 ± 0,2 b	12,7 ± 1,3 A ab
P2	15,5 ± 0,4 a	9,1 ± 0,5 b	14,0 ± 2,1 ab	13,0 ± 0,3 a	11,7 ± 2,1 A a
P3	12,1 ± 2,1 b	10,2 ± 0,1b	18,1 ± 1,3 a	13,6 ± 2 ab	12,1 ± 0,8 A b
P4	14,3 ± 1,8 a	12,0 ± 0,9 b	18,2 ± 2,1 a	14,0 ± 2 ab	13,5 ± 2 A ab
P5	8,9 ± 0,1 a	8,9 ± 1,5 a	16,1 ± 1,5 b	14,1 ± 0,3 b	11,5 ± 0,5 A a
P6	8,5 ± 1,2 b	12,9 ± 2,1 ab	14,2 ± 0,4 a	13,2 ± 0,6 a	9,0 ± 1,0 A ab
P7	13,6 ± 3,4 a	14,2 ± 0,5 a	15,4 ± 0,9 a	15,4 ± 1,8 a	12,8 ± 0,5 A a
P8	9,3 ± 1,7 b	9,5 ± 0,5 b	16,5 ± 1,1 a	11,7 ± 2,3 ab	9,3 ± 1,0 A b
P9	9,9 ± 1,3 a	14,3 ± 1,1 a	14,5 ± 1,1 a	9,8 ± 0,2 a	14,1 ± 1,5 A a
P10 **	15,0 ± 1,2 a	15,1 ± 1 a	14,8 ± 1,5 a	14,0 ± 2 a	15,4 ± 1,5 A a

** = ponto controle valores médios (n = 3) ± erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$

Tabela 4
Eficiência carboxilativa medidas em *P. guajava* expostas em área industrial.

Pontos	Inverno 2005	Primavera 2005	Verão 2006	Outono 2006	Inverno 2006
$\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$					
P1	0,4 ± 0,1 a	0,4 ± 0,04 a	0,4 ± 0,08 a	0,7 ± 0,1 a	0,9 ± 0,09 a
P2	0,9 ± 0,04 a	0,8 ± 0,2 a	0,8 ± 0,4 a	0,8 ± 0,2 a	0,6 ± 0,09 a
P3	0,9 ± 0,2 a	0,4 ± 0,1 a	0,5 ± 0,3 a	0,7 ± 0,07 a	0,7 ± 0,2 a
P4	0,9 ± 0,2 a	0,5 ± 0,2 a	0,6 ± 0,4 a	0,9 ± 0,01 a	0,8 ± 0,2 a
P5	0,5 ± 0,1 b	0,5 ± 0,1 b	0,8 ± 0,08 b	0,7 ± 0,2 b	1,0 ± 0,2 a
P6	0,6 ± 0,05 b	0,8 ± 0,2 ab	0,8 ± 0,5 ab	1,0 ± 0,1 a	0,8 ± 0,2 ab
P7	0,7 ± 0,02 ab	0,5 ± 0,2 b ab	0,6 ± 0,1 ab	1,3 ± 0,2 a	0,9 ± 0,3 ab
P8	0,4 ± 0,2 a	0,4 ± 0,03 a	0,9 ± 0,3 a	0,9 ± 0,2 a	0,8 ± 0,3 a
P9	0,6 ± 0,07 a	0,4 ± 0,01 a	0,5 ± 0,2 a	0,9 ± 0,1 a	0,6 ± 0,1 a
P10 **	0,7 ± 0,04 a	0,8 ± 0,36 a	0,7 ± 0,3 a	0,9 ± 0,2 a	1,0 ± 0,2 a

** = ponto controle, valores médios (n = 3) ± erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para P<0,001.

As médias de área foliar (Fig. 2), biomassa (Fig. 3), taxa de crescimento relativo em altura (Fig. 4), Amax (Tabela 3) e a EC (Tabela 4) não apresentaram diferenças significativas em relação ao ponto controle, apenas mostraram variação sazonal, onde a exposição de verão apresentou os maiores valores praticamente para todas as variáveis.

Os resultados obtidos da exposição das plantas para o teor de enxofre acumulado está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5

Teor de enxofre nas folhas de *P.guajava* expostas em área industrial.

Pontos	Inverno 2005	Primavera 2005	Verão 2006	Outono 2006	Inverno 2006
P1	0,28 ± 0,02 ab	0,33 ± 0,01a	0,27 ± 0,01 a	0,29 ± 0,04 a	0,14 ± 0,02 b
P2	0,30 ± 0,01 ab	0,33 ± 0,05 a	0,42 ± 0,03 * a	0,23 ± 0,05 b	0,17 ± 0,03 b
P3	0,33 ± 0,03 ab	0,38 ± 0,05 * a	0,41 ± 0,04 * a	0,21 ± 0,01 b	0,22 ± 0,04 b
P4	0,32 ± 0,04 ab	0,30 ± 0,01 a	0,36 ± 0,02 a	0,19 ± 0,03 b	0,16 ± 0,01 b
P5	0,29 ± 0,01 ab	0,29 ± 0,06 a	0,36 ± 0,01 a	0,18 ± 0,02 b	0,19 ± 0,01 b
P6	0,28 ± 0,05 ab	0,35 ± 0,07 a	0,35 ± 0,01 a	0,19 ± 0,05 b	0,20 ± 0,03 b
P7	0,29 ± 0,02 a	0,34 ± 0,03 ab	0,27 ± 0,01 ab	0,21 ± 0,02 ab	0,17 ± 0,02 b
P8	0,26 ± 0,02 ab	0,28 ± 0,04 a	0,35 ± 0,03 a	0,20 ± 0,01 b	0,15 ± 0,01 b
P9	0,27 ± 0,02 a	0,25 ± 0,05 a	0,35 ± 0,05 a	0,18 ± 0,05 a	0,20 ± 0,06 a
P10 **	0,22 ± 0,03 b	0,21 ± 0,02 b	0,32 ± 0,02 a	0,16 ± 0,02 b	0,14 ± 0,01 b

** - ponto controle, valores médios (n=3), ± incerteza padrão, * = diferenças significativas em relação ao controle para $\alpha = 0,05$. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$.

O teor de enxofre apresentou diferença significativa em relação ao ponto controle no ponto três ($P < 0,024$) na exposição de primavera e nos pontos dois ($P < 0,028$) e três ($P < 0,022$) na exposição de verão (Tabela 5). Considerando a totalidade das exposições, o intervalo de variação do teor de enxofre esteve entre 0,15 e 0,41%.

Os resultados obtidos da exposição das plantas para o teor de níquel acumulado está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6

Valores do teor de níquel nas folhas de *P. guajava* expostas em área industrial.

Pontos	Inverno 2005	Primavera 2005	Verão 2006	Outono 2006	Inverno 2006
P1	0,89 ± 0,20 B a	0,74 ± 0,25 AB a	1,14 ± 0,30 * Ba	0,88 ± 0,10 Ba	0,72 ± 0,20 * B a
P2	1,54 ± 0,10 * A bc	0,94 ± 0,11 A bc	3,01 ± 0,84 * A a	1,74 ± 0,30 * A a	0,86 ± 0,10 BC b
P3	1,19 ± 0,10 B b	1,33 ± 0,18 * A ab	1,21 ± 0,11 * B ab	0,97 ± 0,30 B ab	2,40 ± 0,90 * A a
P4	0,80 ± 0,03 B a	0,40 ± 0,09 B a	0,85 ± 0,14 * Ba	1,16 ± 0,10 B a	0,65 ± 0,30 B a
P5	1,77 ± 0,40 * A a	0,38 ± 0,03 B b	1,34 ± 0,17 * Ba	1,85 ± 0,04 * A a	0,46 ± 0,01 BC b
P6	2,75 ± 0,40 * A a	1,48 ± 0,24 * A b	1,27 ± 0,12 *A b	2,22 ± 0,30 * A a	1,28 ± 0,20 * A b
P7	1,40 ± 0,09 B a	0,85 ± 0,06 AB a	0,74 ± 0,31 *B a	1,43 ± 0,30 B a	0,42 ± 0,20 BC a
P8	1,11 ± 0,05 B a	0,52 ± 0,12 B ab	0,63 ± 0,11 *B ab	0,75 ± 0,10 B ab	0,43 ± 0,04 BC a
P9	0,86 ± 0,18 B a	0,43 ± 0,03 B a	0,37 ± 0,03 C a	0,55 ± 0,06 B a	0,48 ± 0,09 BC a
P10 **	0,60 ± 0,21 B a	0,31 ± 0,07 B a	0,16 ± 0,03 C a	0,29 ± 0,02 B a	0,18 ± 0,05 C a

** = Ponto controle, valores médios (n=3), ± = erro padrão, * = diferença significativa em relação ao ponto controle pelo teste de Dunnett para P< 0,001. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey para P<0,001. Letras maiúsculas comparam linhas, letras minúsculas comparam colunas.

Os teores de níquel variaram entre 0,16 e 3,01 µg g⁻¹ e apresentaram diferenças significativas em relação ao ponto controle (P<0,001) em todas as exposições (Tabela 6), os teores também atingiram um fator máximo de acumulação de 18,8 (ponto 2, verão 2006) em relação ao controle (Tabela 7).

Tabela 7 Fator de acumulação de níquel nas folhas de *P. guajava* expostas em área industrial.

Pontos	Inverno 2005	Primavera 2005	Verão 2006	Outono 2006	Inverno 2006
P1	1,48	2,38	7,10	3,04	4,76
P2	2,57	3,01	18,81	6,00	3,81
P3	1,98	4,28	7,58	3,34	13,34
P4	1,33	1,28	5,29	4,00	3,63
P5	2,94	1,24	8,38	6,37	2,54
P6	4,58	4,78	7,96	7,66	7,11
P7	2,33	2,75	4,57	4,92	2,34
P8	1,85	1,69	4,02	2,60	2,39
P9	1,44	1,38	2,28	1,74	2,67

Valores médios n=3

Na maioria das exposições, os pontos que apresentaram diferenças significativas em relação ao controle foram aqueles localizados a menos de 1,5 km da fonte emissora. Este padrão apresentou duas exceções; na exposição de verão, em que excluindo o ponto nove (ponto externo), todos os demais pontos apresentaram diferenças significativas e na exposição de inverno de 2006, em que além de pontos próximos a fonte, o ponto 1 (mais distante da fonte) também apresentou diferença significativa em relação ao ponto controle. De modo geral, houve uma similaridade no padrão de dispersão do teor de níquel nas folhas em relação à fonte emissora em todas as exposições, com uma correlação negativa do teor de níquel em relação a distância da fonte (Fig. 5). Porém, o coeficiente de determinação teve seu valor mais elevado no inverno de 2005 ($R^2 = 0,78$), decrescendo nas exposições de primavera ($R^2 = 0,53$), outono ($R^2 = 0,69$), inverno de 2006 ($R^2 = 0,23$), até alcançar seu valor mínimo na exposição de verão ($R^2 = 0,20$) (Fig. 5).

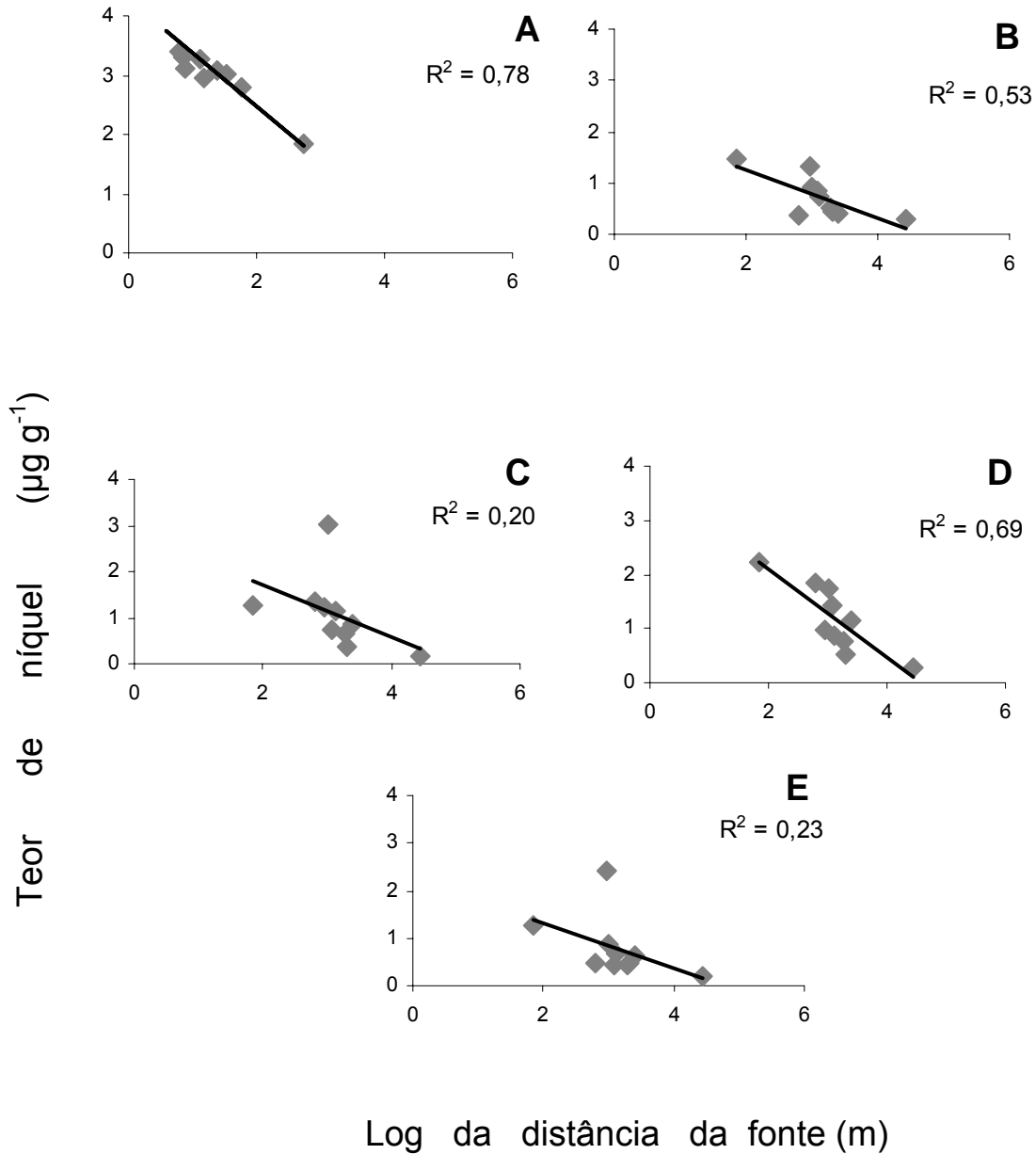


Figura 5: Regressão linear entre o teor de níquel e a distância da fonte emissora. A = inverno 2005, B = primavera 2005, C = verão 2006, D = outono 2006, E = inverno 2006.

Através da ordenação das médias dos teores de Ni e S e da correlação negativa dos descritores com os eixos foi observado a formação de dois grupos, os pontos cinco, seis, dois e três que ficaram no lado negativo do eixo com os maiores teores de Ni e S, e os demais pontos inclusive o controle no lado positivo com os menores teores (Fig. 6).

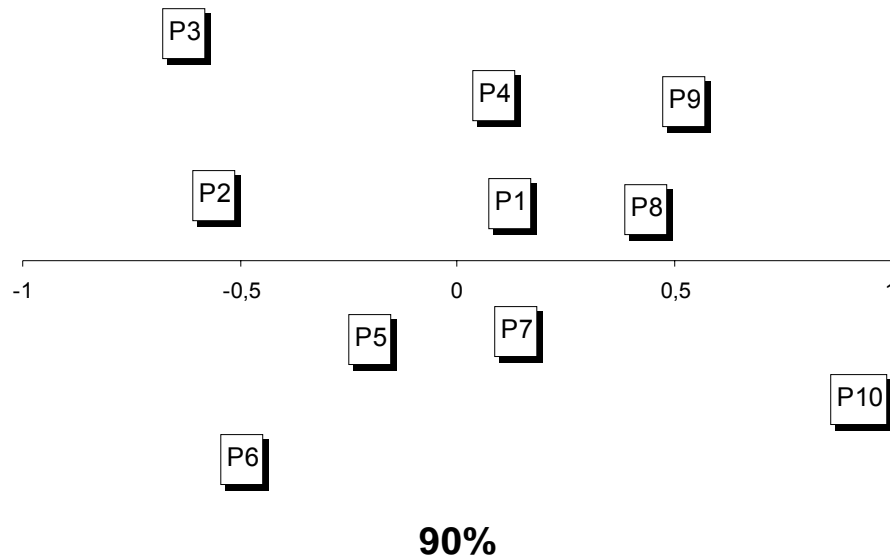


Fig 6. Ordenação das médias das variáveis de Ni e S de todas as coletas através da análise de coordenadas principais, com um eixo significativo por autoamostragem bootstrap para $P < 0,1$. Coeficientes de correlação entre descritores originais e eixo de ordenação para Ni = -0,96, e S = -0,95. Percentagem = variância explicada pelo eixo.

DISCUSSÃO

P. guajava não apresentou um padrão evidente de resposta na biomassa total, área foliar, crescimento relativo em altura, Amax e EC em relação a qualidade do ar local. As plantas expostas em pontos internos, como os pontos cinco e seis, apesar de não significativos apresentaram uma tendência a menores valores para estes parâmetros na maioria das exposições, o que parece indicar uma maior influência fitotóxica na área interna da refinaria. *P. guajava* respondeu melhor a variação sazonal mostrando mudanças evidentes entre as estações do ano, onde o verão apresentou maiores valores para a biomassa total, área foliar, crescimento relativo em altura e Amax. Os menores valores foram observados nas exposições de inverno 2005 e outono 2006, nas quais ocorreram as menores temperaturas médias. Já, a eficiência carboxilativa não apresentou respostas tanto para a variação sazonal como para qualidade do ar na área de estudo.

O teor de enxofre nas plantas ficou abaixo dos níveis basais estabelecidos para plantas terrestres de 0,1 a 0,9 %S (Bowen, 1979). Os pontos que apresentaram diferença significativa em relação ao controle nas exposições de primavera e verão ficaram restritos à área interna da refinaria e relativamente próximos entre si. Talvez, evidenciando que tais pontos, por estarem situados próximos as fontes industriais, possam estar mais sujeitos a exposição por compostos de enxofre.

A formação dos grupos apresentado pela ordenação (Fig. 6) se dividem em pontos localizados na região central da área industrial (Fig.1) e os pontos amostrais periféricos e externos à área industrial assim como o ponto controle. Corroborando com que tais pontos, por estarem situados próximos as fontes industriais, possam estar mais sujeitos a exposição por compostos de enxofre e níquel.

Os teores de níquel também ficaram abaixo dos níveis basais para plantas terrestres $0,1 - 5 \mu\text{g g}^{-1}$ (Bowen, 1979) não demonstrando níveis fitotóxicos para as plantas. Porém, a acumulação de Ni em *P.guajava* apresentou um padrão de dispersão característico em relação a fonte potencialmente emissora. No inverno e primavera de 2005 e outono de 2006 os pontos que mostraram diferenças significativas estavam localizados a menos de 1.030 metros da fonte (Fig. 1).

Todas as coletas apresentaram correlações negativas entre o teor de níquel nas folhas e a distância da fonte, indicando que os teores de Ni diminuem quando aumenta a distância da fonte potencialmente emissora. As correlações mais significativas foram encontradas no inverno 2005 e outono 2006. Estes padrões, provavelmente, são conseqüências das condições de dispersão nos períodos de exposição. O fator máximo de acumulação de níquel para *P. guajava* foi 18,8 indicando e que esta espécie possui uma boa capacidade para a acumulação.

Madhoolika & Jyoti (2000) encontraram resultados similares quanto a acumulação de Ni usando *P. guajava* em monitoramento passivo, com uma variação nos teores de níquel entre 1,59 e 1,79 $\mu\text{g g}^{-1}$. Uma variação menor do que a encontrada no presente trabalho (0,16 a 3,01 $\mu\text{g g}^{-1}$) a qual pode ser explicada pela distância dos pontos de amostragem nos dois trabalhos, uma vez que no presente

trabalho os pontos de amostragem se encontravam em um raio de 2 km, enquanto Madhoolika & Jyoti (2000) trabalharam em um raio de até 8 km.

Nos organismos vegetais a fotossíntese é um dos primeiros processos a ser alterado pela ação de poluentes (Treshow & Anderson 1989). A qualidade do ar local (tabela 2) não causou danos à fotossíntese, as mudas também não apresentaram alterações em relação ao crescimento, biomassa total e área foliar, o que demonstra que *P. guajava* é uma planta relativamente resistente.

A resistência de *P. guajava* à compostos de enxofre e sua capacidade para acumulação já foi relatada por outros autores (Pandey & Pandey, 1994; Singh et al., 1994). O que possivelmente explica os resultados obtidos no presente trabalho é que a quantidade de enxofre atmosférico não foi suficientemente alta para superar a capacidade de desintoxicação do metabolismo da planta.

Os resultados obtidos por Klumpp et al. (2002), mostraram acumulação diferenciada de S e injúrias foliares de 20-60% da folha, apesar das concentrações médias máximas de SO₂ e NO₂ (19,6 e 24,7 µg g⁻¹ respectivamente) observadas não terem sido maiores do que as médias máximas observadas no presente trabalho. Deve-se levar em conta que a cidade de Cubatão comporta diversas atividades industriais. Possuindo maior variedade de poluentes atmosféricos incluindo o Flúor, além da topografia local que dificulta a dispersão das emissões e de picos de poluentes comumente observados na área.

Pandey, (2005) observou mudanças relativas na área foliar e na razão parte/aérea raiz assim como injúrias nas folhas, onde o local de estudo na Índia também apresentava maiores níveis de poluentes além de HF considerado um poluente altamente fitotóxico para as plantas (Treshow & Anderson 1989).

CONCLUSÃO

P. guajava cv Paluma apresenta-se bem adaptada ao clima subtropical da área de estudo, Devido ao padrão de dispersão encontrado em relação a fonte pode-se concluir que *P. guajava* é um bom bioindicador de acumulação, sendo capaz de indicar os locais mais sujeitos a exposição por níquel, podendo ser perfeitamente utilizada para monitoramento de longo prazo, podendo também ser testada para a acumulação de outros metais pesados. A escolha de uma cultivar específica também ajudou assegurar a uniformidade genética e a confiabilidade dos dados.

BIBLIOGRAFIA

- Arndt, U., Scheweizer, A., 1991. The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. In: Ellenberg H., Biological monitoring signals from environmental. Vieweg, Braunschweig, pp.199-260.
- Baird, C., 2002. Química Ambiental. Bookman, Porto Alegre, pp.108-15.
- Bowen , H. J. M., 1979. Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London, pp. 237-73.
- Bruno, S., Werner. S., 1993. Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In: Markert, B. Plants as Biomonitors: indicators for heavy metal in terrestrial environmental. VCH, New York , pp.31-60.
- Cape, J.N., 2003. Effects of airborne volatile organic compounds on plants. Environmental Pollution. 122, 145-57
- Chupakhina, G.N., Maslennikov, P.V., 2004. Plant adaptation to oil stress. Russian Journal Ecology. 35, 290-95.
- Fakayode, S.O., Onianwa, P.C., 2002. Heavy metal contamination of soil, and bioaccumulation in guinea grass (*Panicum maximum*) around Ikeja Industrial Estate Lagos, Nigeria. Environmental Geology. 43, 145-50.
- Hunt, R., 1990. Basic Growth Analysis. Unwin Hyman, London, pp. 25-34.
- Jasan, R.C., Verburg, H.Th., Wolterbeek, R.R., Pignata, M.L., 2004. On use of the lichen *Ramalina celastri* (Spreng.) Krog. & Swinsc. As indicator of atmospheric pollution in the province of Córdoba, Argentina, considering both lichen physiological parameters and element concentrations. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 259, 93-97.
- Jeremy, B., Jürgen, B., Tom, L., Anne, B., 1999. Natural and man-made selection for air pollution. Journal of Experimental Botany. 50, 1423-35.
- Klumpp, A., Moraes, R.M., Furlan, C.M., Klumpp, G., Domingos, M., 2002. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. Environmental International. 28, 367-74.
- Klumpp, A., Domingos, M., Moraes, R.M., Klumpp, G., 1998. Effects of complex air pollution on tree species of Atlantic rain forest near Cubatão, Brazil. Chemosphere. 36, 989-94.
- Larcher, W., 2000. Ecofisiologia vegetal. Rima, São Carlos, pp. 349-461.

Madhoolika, A., Jyoti, S., 2000 Impact of coal power plant emission on the foliar elemental concentrations in plants in a low rainfall tropical region. *Environmental Monitoring and Assessment*. 60, 261–82.

Mariano, J. B., 2005. Impactos ambientais do refino de petróleo. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 79-98.

Moreno, J.A., 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Secretariada Agricultura. Porto Alegre, p 42.

Pandey, J., Pandey, U.O., 1994. Evaluation of air pollution phytotoxicity in seasonally dry tropical urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 33, 195-213.

Pandey, J., 2005. Evaluation of air pollution phytotoxicity downwind of phosphate fertilizer factory in India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 100, 249-66.

Prado, C.H.B.A., Moraes, J.A.P.V., 1997. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*. 33, 103-12.

Ruthsatz, B., Wey, H., 1991. Concept a biological monitoring study. In: Ellenberg H., *Biological monitoring signals from environmental*. Vieweg, Braunschweig, pp.175-28.

Silva, J.P., 1989. *As Origens de Canoas*. Prefeitura de Canoas, Canoas, p52.

Singh, J., Agrawal, M., Narayan, D., 1994. Relative susceptibility of two species of tropical fruit trees to thermal power plant emission. *Trop. Ecol.* 35, pp.83-96.

Treshow, M., Anderson, K. F., 1989. *Plant stress from air pollution*. Wiley, New York, pp.51-54.

CAPITULO II

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOINDICADOR DE *PSIDIUM CATTLEYANUM* PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR QUANDO EXPOSTO EM ÁREA INDUSTRIAL

Resumo

Com o objetivo de avaliar o potencial bioindicador de *Psidium cattleyanum*, mudas desta espécie foram exposta em área industrial do município de Canoas, Brasil. As plantas foram expostas em nove pontos de amostragem na área de influência das emissões industriais e em um ponto controle localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As exposições duraram cerca de três meses e coincidiram com os períodos estacionais de primavera de 2005, verão, outono e inverno de 2006 totalizando quatro exposições. Foram avaliados a biomassa total, a área foliar, o crescimento relativo em altura e a formação de malonaldeído (MDA). A espécie não apresentou diferenças significativas de biomassa, área foliar e crescimento relativo em altura em relação ao ponto controle. A formação de MDA apresentou diferenças significativas em relação ao controle para as coletas de verão e inverno.

Abstract

In order to evaluate the bioindicator potential, *Psidium cattleianum* was exposed in an industrial area at city of Canoas, Brazil. The plants were exposure in nine different sites in influence area of industrial emissions and a control site placed at Universidade Federal do Rio Grande do Sul. The exposures during about three months coincident with the season of spring of 2005, summer, fall and winter of 2006 amount four exposures. It was assessed, total biomass, leaf area, relative height growth and the content of malondialdehyde (MDA) in leaves. The total biomass, leaf area and relative height growth didn't show any significant differences for all seasons. The specie showed significant differences of MDA content in relation control site in summer and winter.

INTRODUÇÃO

Muitos países em industrialização, tais como o Brasil, podem carecer de um planejamento que leve em conta a proteção dos recursos naturais. A ausência do planejamento ambiental e a disponibilidade escassa de recursos financeiros tornam necessário o monitoramento contínuo dos poluentes gerados com o fim de controlar as emissões das indústrias, a um custo baixo. O biomonitoramento de áreas potencialmente impactadas pela poluição atmosférica através de espécies vegetais é de grande valia nesses casos, pois podemos avaliar os riscos a que estão expostos os organismos e o ambiente a custos relativamente baixos (Arndt & Scheweizer, 1991).

No caso da área de estudo em Canoas, Brasil, uma importante fonte emissora é uma refinaria de petróleo. As principais substâncias atmosféricas emitidas pelo processo de refino de petróleo são os óxidos de enxofre (SO_x), de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos e os materiais particulados, o quais podem conter metais pesados associados (Mariano 2005; Baird 2002).

O efeito da poluição atmosférica nos seres vivos pode ser avaliado através da formação do ácido malonaldeído (MDA), produto final da peroxidação de lipídeos amplamente aceito para danos causados por estresse oxidativo (Shulaev & Oliver, 2006; Halliwell & Whiteman, 2004) e que tem sido freqüentemente utilizado como indicador de injúria celular causada por danos nas membranas celulares em plantas expostas à poluição atmosférica (Ranieri et al., 1996; Canãs et al., 1997; Sakaki et al., 1983).

Em geral, as membranas são sensíveis a processos oxidativos gerados por radicais livres. Ozônio, óxidos de nitrogênio, enxofre e metais também podem ser

incluídos entre os agentes causadores que podem iniciar estas reações (Menzel, 1976; Pryor & Lightsey, 1981; Nouchi & Toyama, 1988; Shraddha et al. 2004; Saeidi et al, 2007). Uma vez que o estresse oxidativo pode ser causado por diversos poluentes, esta é uma resposta não específica de um determinado poluente.

Ao contrário de países do Hemisfério Norte, onde a tradição de pesquisas sobre os efeitos da poluição do ar em plantas remonta ao início do século XX, os estudos relativos ao impacto da poluição atmosférica em países em desenvolvimento constitui um campo recente (Larcher 2000). Até o presente existem poucos trabalhos na literatura que usaram *P. cattleyanum* como bioindicador da qualidade do ar. Em exposição ativa na região de Cubatão, Brasil, *P. cattleyanum* demonstrou ser uma planta sensível apresentando alteração de biomassa (Klumpp et al., 2002) e aumento de substâncias antioxidantes quando exposta a poluição atmosférica local (Klumpp et al., 1998), a partir do qual o autor sugere seu uso como um bioindicador de resposta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas ao estímulo da poluição atmosférica, conseqüentemente a capacidade para bioindicação, de *P. cattleyanum* através da avaliação da formação de ácido malonaldeído (MDA) e possíveis alterações de biomassa, área foliar e crescimento relativo em altura quando exposta na área industrial em Canoas, Brasil. Podendo assim inferir sobre o seu uso como espécie bioindicadora para o monitoramento da qualidade do ar.

MATERIAL E MÉTODOS

P. cattleyanum Sabine (MYRTACEAE), é uma espécie nativa do Brasil com distribuição desde Minas Gerais até Rio Grande do Sul (Lorenzi, 2000). Como *P. cattleyanum* não possui um protocolo de padronização, esta foi feita levando em consideração a bibliografia já existente (Klumpp et al., 1998; Klumpp et al., 2002). A escolha de uma cultivar específica pode assegurar a uniformidade das plantas e a confiabilidade dos dados.

Mudas da cultivar Irapuã com cerca de 30 cm de altura e 1 ano de idade foram obtidas de um produtor certificado (Silvestrin C.A). As mesmas foram transferidas para vasos plásticos de cinco litros com solo padronizado, onde permaneceram por um período de adaptação de 15 dias antes de serem expostas.

A exposição foi feita em expositores padronizados de ferro galvanizado a 1 m acima do solo e suplementação automática de água, conforme Arndt & Schweizer (1991). Os expositores foram cobertos com uma malha do tipo sombrite (corte de 30% da radiação), nas faces voltadas para o leste, norte e oeste, para evitar o excesso de radiação.

O biomonitoramento foi realizado na área industrial (Fig. 1) localizada no município de Canoas, RS (29°55'07" S 51°10'54" O) fazendo divisa com o município de Esteio (29°49'16" S 51°08'09" O) na região fisiográfica da Depressão Central. O clima da região é subtropical, *Cfa* segundo o sistema de Köppen (Moreno, 1991). Topograficamente o terreno é plano e apresenta uma cota altimétrica média de 22 m acima do nível do mar.

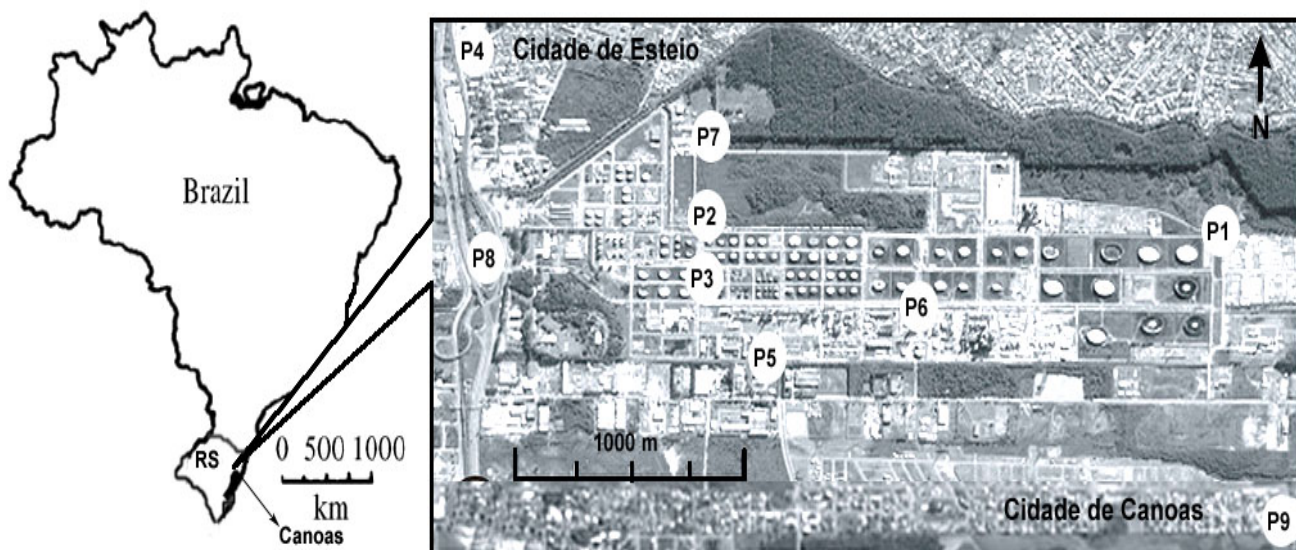


Figura 1: Área de estudo em Canoas no estado do Rio Grande do Sul (RS) com os pontos de exposição dos bioindicadores.

A área estudada possui uma temperatura amena, com média anual máxima de 24°C e média mínima de 15°C, a temperatura máxima absoluta é de 40°C e a mínima absoluta de 0°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1.555 mm (Silva, 1989).

As mudas foram expostas em nove pontos de exposição com três repetições cada. A localização foi escolhida em relação à direção preferencial do vento, sendo os pontos distribuídos em quatro internos na área industrial, que sofrem influência direta, e quatro externos da área industrial que sofrem influência indireta. Além de um ponto controle localizado no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (29°30'04" S 8°51'07" O), distando cerca de 27,5 km da fonte.

A identificação e a localização exata dos pontos se encontram na Tabela 1. No ponto de amostragem, quatro (P4) localizado em Esteio e nove (P9) em Canoas, havia estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, que mediam em tempo contínuo as concentração de SO₂, NO₂ e variáveis meteorológicas (Tabela 2) e que nos forneceu um quadro da qualidade do ar da região.

Tabela 1
Localização e identificação dos pontos de exposição dos bioindicadores vegetais.

Pontos de amostragem	Localização	Coordenadas geodésicas
P1	Ponto interno	29°52'08" S 51°08'46" O
P2	Ponto interno	29°52'03" S 51°10'12" O
P3	Ponto interno	29°52'15" S 51°10'10" O
P4	Ponto externo*	29°51'26" S 51°10'42" O
P5	Ponto interno	29°52'27" S 51°09'58" O
P6	Ponto interno	29°52'16" S 51°09'37" O
P7	Ponto externo	29°51'48" S 51°10'19" O
P8	Ponto externo**	29°52'07" S 51°10'46" O
P9	Ponto externo*	29°23'01" S 51°08'40" O
P10	Ponto controle	30°04'28" S 51°07'25" O

* - P 4 e 9 junto às estações de monitoramento automática.

** - P8 em frente à refinaria junto à rodovia BR116.

Tabela 2
Concentração média de dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e temperatura média medidos nas estações automáticas do P9 em Canoas e P4 em Esteio.

Período	SO ₂ (µg m ⁻³)		NO ₂ (µg m ⁻³)		Temperatura (°C)	
	Estação P9	Estação P4	Estação P9	Estação P4	Estação P9	Estação P4
Pri - 05	3	5,9	20,8	20,3	22,0	23,6
Ver - 06	12	12,0	16,4	18,9	25,7	-
Out - 06	6,5	7,1	33,6	25,0	17,3	-
Inv - 06	7,2	25,6	48,2	18,2	17,7	-

As plantas permaneceram expostas por quatro períodos de três meses, coincidindo com períodos estacionais de inverno, primavera, verão e outono nas seguintes datas: 27/10/05 a 09/01/06, 09/01/06 a 19/04/06, 19/04/06 a 10/07/06 e 10/07/06 a 17/10/06

A peroxidação de lipídeos foi avaliada mediante o ensaio das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA), adaptada de Guidi et al. (2000), o qual determina o conteúdo de MDA. Foram usadas folhas jovens frescas (cerca de 5 g) homogeneizadas em nitrogênio líquido com 3,5 mL de ácido tricloroacético 0,1% (TCA). O homogeneizado foi centrifugado por 10 minutos a 15 000 x rpm e 2 mL do sobrenadante foi adicionada a 2 ml de TCA 40% e 0,025 mL de TBA 0,5 %. O restante da análise assim como a leitura foi feito de acordo com Guidi et al. (2000).

A área foliar total foi medida em todas folhas das plantas por meio de um medidor de área foliar (Licor LI-3000), sendo que cada folha foi medida três vezes para se obter uma média. A taxa de crescimento relativo em altura foi obtida pela razão entre a diferença em altura das plantas antes e depois de cada coleta pela altura inicial, segundo (Hunt, 1990). A biomassa de cada planta foi separada em frações de folhas, caule e raiz, lavadas em água corrente, secas em estufa por sete dias a 70°C e pesadas em balança semi-analítica (Sartorius, 2006 MP).

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA dois fatores (ponto de amostragem e período de exposição), seguida do teste de Tukey para comparação entre os pontos e entre os períodos de exposição e do teste de Dunnett para comparação em relação ao ponto controle quando encontradas diferenças significativas para $\alpha = 0,05$. Quando necessário, para obter a normalidade e homocedasticidade, foi adotada a transformação logarítmica dos dados.

RESULTADOS

Os resultados obtidos da exposição das plantas estão apresentados na Figura 2 para as médias de biomassa, na Figura 3 para as médias do crescimento relativo em altura e na Figura 4 para as médias de área foliar.

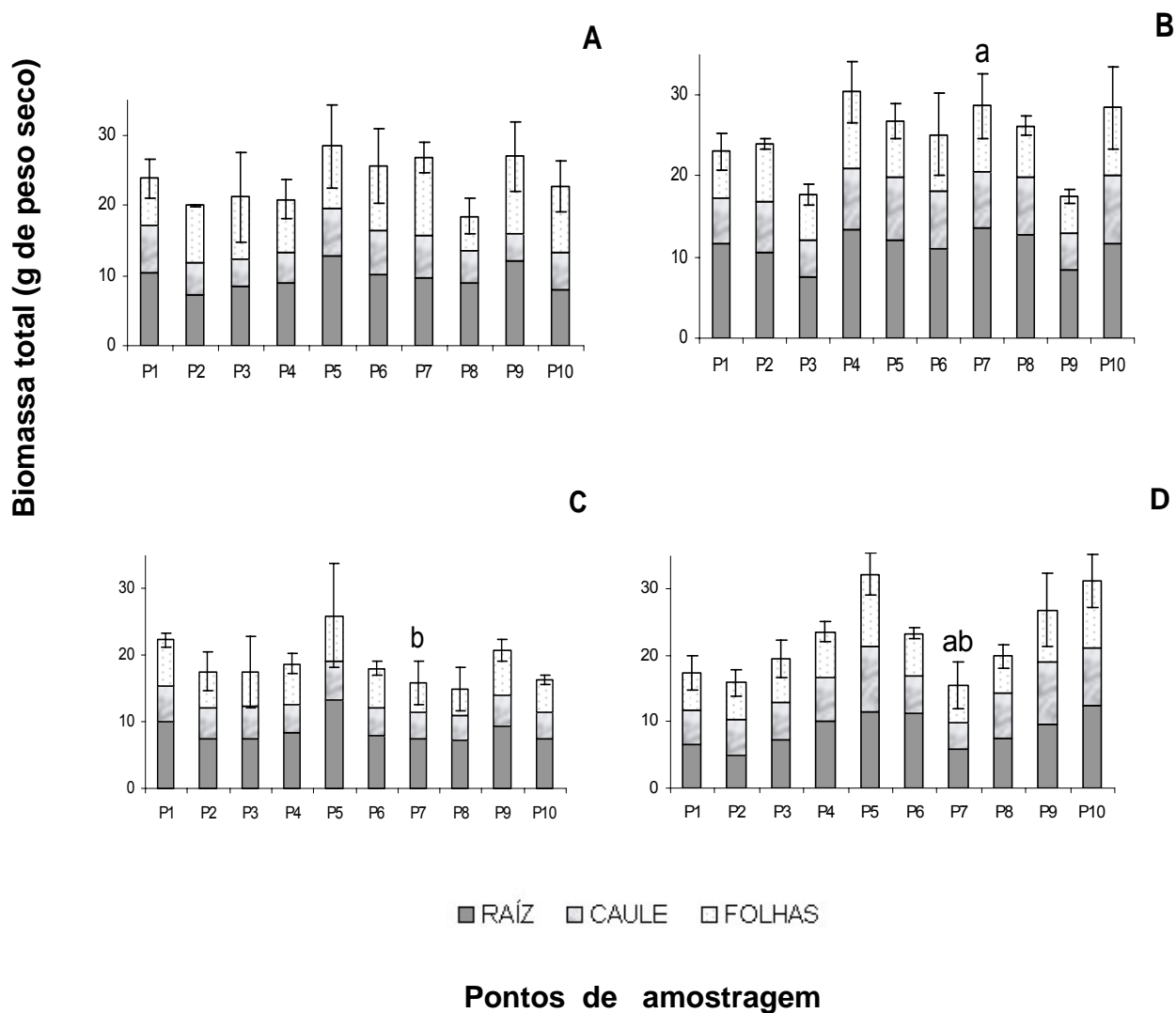


Figura 2: Biomassa total de *P. cattleyanum*, barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$ A = primavera 2005, B = verão 2006 C = outono 2006, E = inverno 2006.

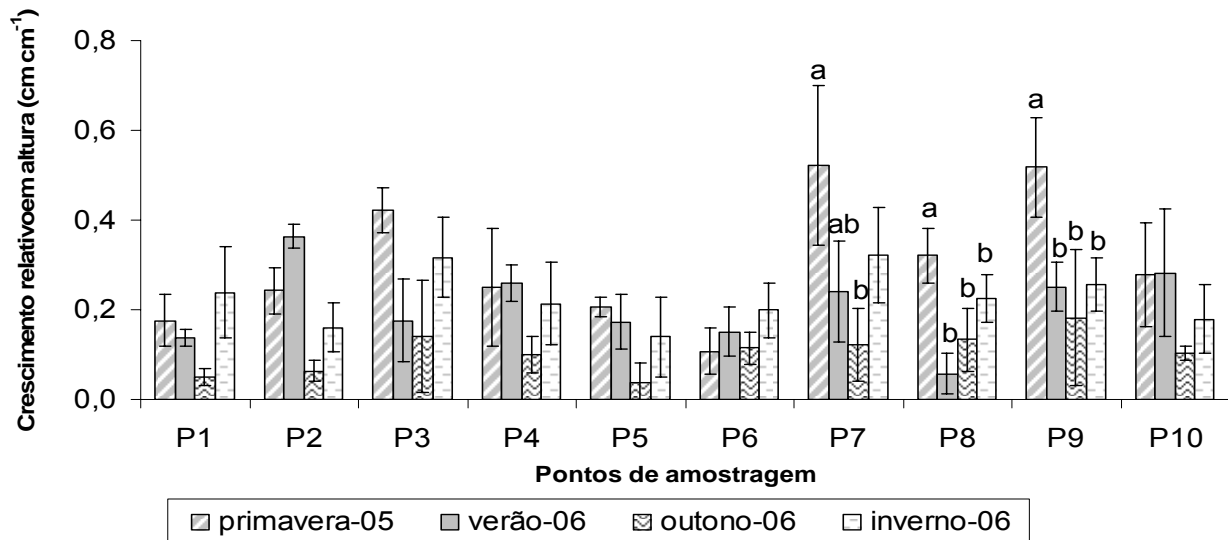


Figura 3: Crescimento relativo em altura de *P. cattleyanum*. Barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$.

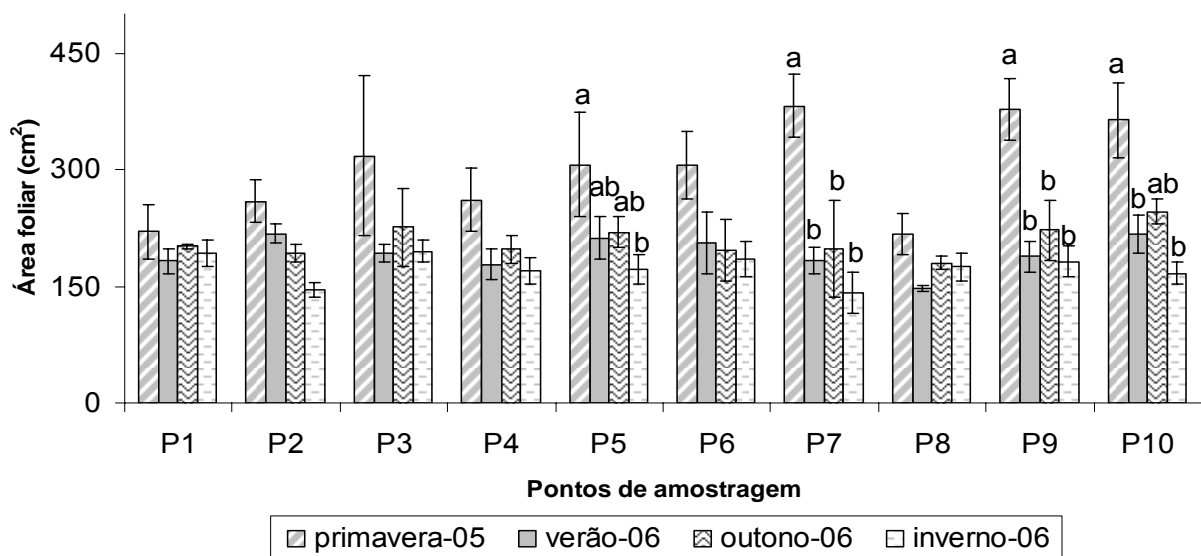


Figura 4: Área foliar de *P. cattleyanum*. Barras verticais = erro padrão. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$.

Os dados de biomassa (Fig. 2), crescimento relativo em altura (Fig. 3) e área foliar (Fig. 4), não apresentaram diferenças significativas para nenhuma exposição, não demonstrando também nenhuma tendência e variação sazonal.

A Tabela 3 apresenta os resultados da formação do MDA.

Tabela 3
Formação de MDA nas folhas de *P. cattleyanum* exposta em área industrial

Pontos	Primavera 2005	Verão 2005	Outono 2006	Inverno 2006
$\mu\text{mol g}^{-1}$ peso fresco				
P1	40,7 ± 9,4 b	51,3 ± 5,6 ab	45,21 ± 15,3 ab	87,2 ± 21,7 * a
P2	26,1 ± 1,5 b	66,8 ± 9,3 a	37,6 ± 3,6 ab	71,9 ± 6,2 * a
P3	38,8 ± 6,7 b	89,0 ± 7,4 * a	47,7 ± 7,7 ab	84,4 ± 9,8 * a
P4	48,3 ± 9,7 a	60,1 ± 10,9 a	49,2 ± 13,7 a	64,9 ± 15,9 a
P5	33,7 ± 2,7 b	59,9 ± 20,8 ab	44,8 ± 8,6 ab	132,5 ± 7,2 * a
P6	36,4 ± 2,5 b	76,8 ± 17,3 * ab	46,5 ± 2,9 ab	147,9 ± 20,9 * a
P7	30,3 ± 1,3 b	68,9 ± 16,0 a	40,4 ± 8,1 ab	47,6 ± 0,3 ab
P8	38,8 ± 2,8 a	54,6 ± 9,1 a	58,9 ± 7,4 a	47,8 ± 17,0 a
P9	44,2 ± 7,3 b	46,4 ± 17,5 ab	58,6 ± 15,8 ab	97,1 ± 11,7 * a
P10 **	31,1 ± 3,8 a	28,3 ± 7,1 a	24,7 ± 10 a	37,4 ± 4,8 a

** = ponto controle, valores médios (n=3). ± erro padrão, * = diferença significativa em relação ao controle. As médias de cada ponto seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa entre os períodos de exposições pelo teste de Tukey para $P < 0,001$.

Apesar da formação do MDA não ter sido significativa para a maioria das exposições o ponto controle apresentou o menor valor em todas as exposições variando muito pouco entre uma exposição e outra, comparada com a grande variação observada nos demais pontos (Tabela 3).

O teor de MDA, na exposição de verão, apresentou diferença significativa em relação ao controle apenas nos pontos internos três e seis, enquanto que na exposição de inverno todos os pontos internos (P1, P2, P3, P5 e P6) apresentaram diferenças significativas em relação ao controle além de um ponto externo, o ponto nove (Tabela 3).

A formação de MDA nas plantas expostas nos ponto quatro e nove onde se encontravam as estações automáticas, não apresentaram correlação significativa com a concentração de SO₂, já com o NO₂ apresentou uma correlação ($r = 0,75$) significativa ($P < 0,02$) (Tabela 4).

Tabela 4

Coeficiente de correlação entre os dados de NO₂ e SO₂ das estações automáticas e a formação de MDA nos pontos correspondentes aos das estações no total de todas as coletas.

	NO ₂ (µg m ⁻³)	SO ₂ (µg m ⁻³)
Coeficiente de correlação	0,75	0,17
Significância da correlação	P<0,02	P<0,67

DISCUSSÃO

Apesar da maioria das exposições não mostrarem diferenças significativas, os valores do ponto controle permaneceram relativamente estáveis em todas as exposições em comparação àqueles medidos nos demais pontos de monitoramento, os quais apresentaram uma grande variação entre as exposições, indicando que embora não significativos estes locais mostraram uma tendência a apresentar valores mais elevados.

A correlação do MDA com NO_2 indica que este composto está agindo sobre as membranas da planta. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) considera como padrão primário $100 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 (concentrações que se forem ultrapassadas podem afetar a saúde da população). Manninen & Hutunem (2000) recomendam concentrações entre 10 e $15 \mu\text{g m}^{-3}$ de NO_2 para proteção da florestas de coníferas. Mesmo valores menores do que os estabelecidos pelo CONAMA já são suficiente para surgir efeito nos bioindicadores expostos, indicando que talvez estes critérios deveriam ser revistos.

Segundo Canãs et al. (1997) a espécie arbórea de origem asiática *Ligustrum lucidum* apresentou uma correlação significativa entre a concentração de MDA e o tráfego de veículos automotores, fonte móvel conhecida pelas emissões de NO e NO_2 (Vanloon & Duffy, 2000).

O NO_2 pode ser um potencial causador de danos às membranas (Menzel, 1976; Pryor & Lightsey, 1981). Em contraste com o NO_2 , ambientes sujeitos a altas concentrações de O_3 troposférico estão mais intimamente ligados a

peroxidação dos lipídeos do sistema de membranas de plantas expostas a essas atmosferas (Wellburn, 1990; Sakaki et al., 1983; Roschchina & Roschchina, 2003).

As correlações encontradas neste trabalho e as encontradas com *L. lucidum* (Canas et al., 1997) talvez, possam ser explicadas pelo sinergismo do NO, NO₂ e O₃ sobre as membranas celulares das plantas, devido a existência de um equilíbrio fotodinâmico destes gases na atmosfera, sendo assim exposições de uma planta ao O₃ troposférico, incluem uma exposição previa a varias misturas de NO e NO₂ (Wellburn, 1990).

A formação de peroxidases e acido ascórbico fazem parte do sistema de defesa das plantas contra estresse oxidativo (Klumpp et al 1998). *P. cattleyanum* quando exposto em região afetada pela poluição atmosférica apresentou uma elevação na produção destas substâncias (Klumpp et al 1998), que embora não mensuradas no presente trabalho, poderiam justificar a ausência de diferenças significativas em relação ao controle na maioria das exposições, o que seria devido ao mecanismo de defesa que esta planta pode apresentar quando exposta à poluição atmosférica.

No inverno houve um aumento da formação de MDA para todos os pontos, também havendo um aumento nas concentrações de SO₂ e NO₂ (Tabela 2), o que pode ter causado o aumento de MDA.

A maioria dos pontos que apresentou diferenças significativas no inverno estavam localizados internamente a refinaria, sendo que os pontos que apresentam as maiores concentrações de MDA (P5 e P6) estavam localizados relativamente próximos entre si; assim como no verão entre os pontos três e seis, os quais poderiam estar sofrendo com maiores concentrações locais de poluentes na época de exposição.

A qualidade do ar na área de estudo não causou alterações significativas de biomassa, crescimento em altura e área foliar em *P. cattleyanum*. As alterações de biomassa relatadas em um dos únicos trabalhos que utilizaram *P. cattleyanum* com bioindicador (Klumpp et al., 1998; Klumpp et al., 2002) foram observadas em uma região com níveis mais elevados e variados de poluição atmosférica cuja topografia local dificulta a dispersão dos poluentes.

CONCLUSÃO

P. cattleyanum cv Irãpua apresentou-se bem adaptada as condições do clima local, também demonstrou ser pouco sensível em relação a formação de MDA por substâncias atmosféricas, já que as diferenças entre os pontos de monitoramento e o ponto controle não foram suficientemente altas para serem significativas na maioria das exposições.

P. cattleyanum demonstra-se uma espécie relativamente resistente. Talvez seja mais conveniente testar seu uso como um bioindicador de acumulação.

BIBLIOGRAFIA

- Arndt, U., Scheweizer, A., 1991. The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. In: Ellenberg H., Biological monitoring signals from environmental. Vieweg, Braunschweig, pp.199-260.
- Baird, C., 2002. Química Ambiental. Bookman, Porto Alegre, pp.108-15.
- Bowen, H. J. M., 1979. Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London, pp. 237-73.
- Canãs, M.S., Carreras, H.A., Orellana L., Pignata, M.L., 1997. Correlation between environmental conditions and foliar chemical parameters in *Ligustrum lucidum* ait. exposed to urban air. Pollutants Journal of Environmental Management. 49, 167–81.
- Guidi, L. Tonini, M., Soldatini, G.F., 2000. Effects of high light and ozone fumigation on photosynthesis in *Phaseolus vulgaris*. Plant Physiol. Biochem. 38, 717–25.
- Halliwell, B., Whiteman, M., 2004. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? British Journal of Pharmacology. 142, 231–55.
- Hunt, R., 1990. Basic Growth Analysis. Unwin Hyman, London, pp. 25-34.
- Larcher, W., 2000. Ecofisiologia vegetal. Rima, São Carlos, pp. 349-461.
- Lorenzi, H. 2000. Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Nova Odessa, São Paulo, pp.260-82.
- Klumpp, A., Moraes, R.M., Furlan, C.M., Klumpp, G., Domingos, M., 2002. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. Environmental International. 28, 367-74.
- Klumpp, A., Moraes, R.M., Klumpp, G., Domingos, M., 1998. Effects of complex air pollution on tree species of Atlantic rain forest near Cubatão, Brazil. Chemosphere. 36, 989-94.
- Manninen, S. Huttunen, S., 2000. Response of needle sulphur and nitrogen concentrations of Scots pine versus Norway spruce to SO₂ and NO₂. Environmental Pollut. 36, 107- 421.
- Mariano, J.B., 2005. Impactos ambientais do refino de petróleo. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 79-98.

Menzel, D.B., 1976. The role of free radicals in the toxicity of air pollutants (nitrogen oxides and ozone). *in* W. A. Pryor (ed.), Free radicals in biology. Academic Press, New York, pp. 181–203.

Moreno, J.A., 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Secretariada Agricultura. Porto Alegre, p 42.

Nouchi, I., Toyama, S., 1988. Effects of ozone and peroxyacetyl nitrate on polar lipids and fatty acids in leaves of morning glory and kidney bean. *Plant Physiol.* 87, 638-46.

Pryor, W.A., Lightsey, J.W., 1981. Mechanisms of NO₂ reactions: initiation of lipid peroxidates and the production of nitrous acid. *Science* 214, 435-37.

Ranieri, A., D'urso, G., Nali, C., Lorenzini G.F., Soldatini, G.F., 1996. Ozone stimulates apoplastic antioxidant systems in pumpkin leaves. *Physiol. Plant.* 97, 381-87.

Roschchina, V.V. Roschchina, V.D., 2003. Ozone and plant cell. Kluwer Academic, Boston p.73-84.

Saeidi, S.S., Khavari-Nejad, R.A. Fahimi, H., Ghorbanli, M., Majd, A., 2007. Interactive effects of gibberellin a and ascorbic acid on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in *glycine max* seedlings under nickel stress. *Russian Journal of Plant Physiology.* 54, 74–9.

Sakaki, T., Kondo, N., Sugahara, K., 1983. Breakdown of photosynthetic pigments and lipids in spinach leaves with ozone fumigation: Role of active oxygens. *Physiologia Plantarum.* 58, 28-34.

Shraddha, S., Sarita S. Rohit, S., Kavita, P., Kavita, B., 2004. Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. *Chemosphere.* 57, 91–9.

Shulaev, V., Oliver, D.J., 2006. Metabolic and proteomic markers for oxidative stress. new tools for reactive oxygen species research. *Plant Physiology.* 141, 367–72.

Silva, J. P., 1989. As Origens de Canoas. Prefeitura de Canoas, Canoas, p52.

Vanloon, W. G., Duffy, S. J., 2000. Environmental Chemistry a Global Perspective. New York, Oxford, pp. 90-4.

Wellburn, A.R., 1990. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? *New Phytologist.* 115, 395-429.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

P. guajava cv. Paluma mostrou ser uma boa bioindicadora de acumulação pelos padrões bem distintos quanto a distribuição do teor de níquel na área de estudo.

P. guajava não demonstrou alterações na fotossíntese máxima assim como na biomassa total, crescimento relativo em altura e área foliar o que demonstra que é uma espécie relativamente resistente a poluição atmosférica.

P. cattleyanum cv Irãpua não apresentou alterações significativas de biomassa, crescimento relativo em altura e área foliar, também aparentando ser uma espécie relativamente resistente.

O Biomonitoramento que utiliza concomitantemente bioindicadores de resposta e de acumulação oferecem informações complementares para a avaliação do impacto ambiental ocasionado por emissões industriais.

O estudo de espécies para uso na bioindicação, tanto de resposta como de acumulação, adaptadas ao clima de regiões tropicais e subtropicais torna-se necessário para projetos de biomonitoramento da qualidade do ar nos países de clima tropical em desenvolvimento.

BIBLIOGRAFIA INTRODUÇÃO GERAL

Arndt, U., Scheweizer, A., 1991. The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries. In: Ellenberg H., Biological monitoring signals from environmental. Vieweg, Braunschweig, pp.199-260.

Baird, C., 2002. Química Ambiental. Bookman, Porto Alegre, pp.108-15.

Bender, J., Tingey, D.T., Jäger, H.J., Rodecap, K.D., Clark, C.S., 1991. Physiological and biochemical responses of bush bean (*Phaseolus vulgaris*) to ozone and drought stress. Plant Physiol. 137, 565-70.

Bruno, S., Werner. S., 1993. Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In: Markert, B. Plants as Biomonitors: indicators for heavy metal in terrestrial environmental. New York., VCH, pp.31-60.

Canãs, M.S., Carreras, H.A., Orellana L., Pignata, M.L., 1997. Correlation between environmental conditions and foliar chemical parameters in *Ligustrum lucidum* ait. exposed to urban air. Pollutants Journal of Environmental Management. 49, 167–81.

Eskew, D.L. Welch, R.M., Norvell, W.A., 1984. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. Plant Physiology. 76, 691-93.

Grennfelt, P. et al. 1983 Deposition and uptake of atmospheric nitrogen oxides in a forest ecosystem, Serie botânica. 19, 208–21.

Katrien, B., Reinhart, C., Ludwig T., 1999. Effects of tropospheric ozone on woody plants. In: SHASHI, B. A., MADHOOLIKA, A., Environmental pollution and plant response. New York, Lewis Publishers , 1999. p.153-74.

Klumpp, A., Moraes, R.M., Furlan, C.M., Klumpp, G., Domingos, M., 2002. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. Environmental International. 28, 367-74.

Kong, F.X., Hu, W., Chao, S.Y., Sang, W. L., Wanh, L.S. , 1999. Physiological responses of lichen *Xanthoparmelia mexicana* to oxidative stress of SO₂. Environmental and Experimental botany. 42, 201-09.

Larcher, W., 2000. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, Rima, pp. 349-461.

Malavolta, E., 1985. Absorção de íons e transporte mineral, In: Ferri M. G. Fisiologia Vegetal I. São Paulo, Pedagógica, p. 77-96.

Manahan, S.E., 1984. Environmental Chemistry. Califórnia, Monterey, p.327-29.

Mariano, J. B., 2005. Impactos ambientais do refino de petróleo. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 79-98.

Menzel, D.B., 1976. The role of free radicals in the toxicity of air pollutants (nitrogen oxides and ozone). in W. A. Pryor (ed.), Free radicals in biology. Academic Press, New York.pp. 181–203.

Paiva, H.N., Carvalho, J.G., Siqueira, J.O., 2003.Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). Scientia Forestalis. 63, 158-66.

Pandey, J., 2005. Evaluation of air pollution phytotoxicity downwind of phosphate fertilizer factory in India. Environmental Monitoring and Assessment. 100, 249-66.

Pfanz, H., Vollrath, B., Lomsky, B., Oppmann, B., Hynek, V., Beyschlag, W. Bilger, W., White, M.V. & Materna, J., 1994. Life expectancy of spruce needles under extremely high air pollution stress: performance of trees in the Ore Mountains. Trees. 8, 213-22.

Ranieri, A., D'urso, G., Nali, C., Lorenzini G.F., Soldatini, G.F., 1996. Ozone stimulates apoplastic antioxidant systems in pumpkin leaves. Physiol. Plant. 97, 381-87.

Rennenberg, H., Herschbach, C., 1996. Responses of plants to atmospheric sulphur. In: YUNUS, M., IQBAL, M. Plant response to air pollution. Chichester, John Wiley,pp. 295-93.

Rodrigues, G.S., TH., Pimentel, D., Weinstein, L.H., 1997. *Tradescantia* bioassays as monitoring systems for environmental mutagenesis: a review. Critical reviews in Plant Sciences.16, 325- 59.

Seregin, I.V. , Kozhevnikova, A.D. , 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology. 53, 257–77.

Shraddha, S., Sarita S. Rohit, S., Kavita, P., Kavita, B. ,2004. Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. Chemosphere. 57 , 91–9.

Spiegel, H., 2002. Trace element accumulation ins bioindicators exposed to emissions along the industrial facilities of Danube lowland. Turk J Chem. 26, p.815-23.

Treshow, M., Anderson, K. F., 1989. Plant stress from air pollution. Wiley,New York, pp. 51-4.

Vanloon, W. G., Duffy, S. J., 2000. Environmental Chemistry a Global Perspective. New York, Oxford, pp. 90-4.

Zaffari, G.R., Oliva, M.A. , 1989. Alterações fisiológicas em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a diferentes doses de enxofre. Rev. Bras. Fisiol. Vegetal. 1, 19-24.

NORMAS DA REVISTA

Ecotoxicology and Environmental Safety

Preparation of Manuscript

Use generic names of chemicals whenever possible. Proprietary names and trademarks should appear only to identify the source of the chemical and subsequently only the generic name should be used. All abbreviations should be unpunctuated. All abbreviations, chemical names, and journal names should follow the style of latest edition of Chemical Abstract Service Source Index. A useful writing guide is the CBE Style Manual published by the Council of Biology Editors.

Manuscripts *must* contain page and line numbers, be double-spaced throughout, and organized as follows:

The *title page*

Should contain the article title (limited to 15 words or 80 characters), authors' names and complete affiliations, footnotes to the title, and the address for manuscript correspondence (including e-mail address and telephone and fax numbers).

The *abstract*

Must be a single paragraph that summarizes the main findings of the paper in less than 150 words. On page 3 information on the *funding sources* received to support the work described in the manuscript should be provided. Furthermore, on this page formal assurance should be given that any studies involving humans or experimental animals were conducted in accordance with national and institutional guidelines for the *protection of human subjects and animal welfare*. No manuscript will be considered unless this information is supplied.

The *introduction*

Should be as concise as possible, without subheadings.

Materials and methods

Should be sufficiently detailed to enable the experiments to be reproduced.

Results and Discussion

Sections must be separate sections and not combined into one. A concise conclusion should appear at the end of the text. *Acknowledgments* should be brief and should precede the references.

References.

Citations in the text consist of the author's name and the year of publication in parentheses. References should be listed alphabetically by name. Only articles that have been published or are in press should be included in the references. Unpublished results or personal communications should be cited as such in the text.

Please note the following examples:

Burrige, L.E., Haya, K., Waddy, S.L., 2005. Seasonal lethality of the organophosphate pesticide azamethiphos to female American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60, 277-281.

Letourneau, D.K., 1997. Plant-arthropod interactions in agroecosystems. In: Jackson, L. E. (Ed.), *Ecology in Agriculture*. Academic Press, San Diego, pp. 239-290.

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, 3rd ed. Macmillan, New York.

References in foreign languages should appear in the language of the original paper.

Figures

Number figures consecutively with Arabic numerals. *Color figures* in the printed issue can be accepted only if the authors defray the full cost. However, if together with your accepted article, you submit usable color figures, then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.

Please note: Because of technical complications that can arise in converting color figures to "gray scale" (for the printed version should you not opt for color in print), please submit in addition usable black-and-white files corresponding to all the color illustrations.

Tables

Tables should be numbered consecutively with Arabic numerals in order of appearance in the text. Type each table double-spaced on a separate page with a short descriptive title typed directly above and with essential footnotes below.

Proofs

PDF proofs will be sent by e-mail to the corresponding author. To avoid delay in publication, only necessary changes should be made, and corrections should be returned promptly. Authors will be charged for alterations that exceed 10% of the total cost of composition.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail or, alternatively, 25 free paper offprints. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

Online Publication

Your article will appear on Elsevier's online journal database ScienceDirect as an "Article in Press" within approximately 4-6 weeks of acceptance. An Article in Press may be cited prior to its publication by means of its unique digital object identifier (DOI) number, which does not change throughout the publication process.

Author Inquiries

The Author Gateway also provides the facility to track accepted articles and set up e-mail alerts to inform you of when an article's status has changed, as well as detailed artwork guidelines, copyright information, frequently asked questions, and more. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, are provided after registration of an article for publication.

