

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

SANDRELLY AMIGO LOPES

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E ANATÔMICA DOS EFEITOS DA
DEPOSIÇÃO DE FERRO E DIÓXIDO DE ENXOFRE EM DUAS ESPÉCIES
VEGETAIS OCORRENTES NA RESTINGA: *Schinus terebinthifolius* e
*Mimusopsis coriacea***

**VITÓRIA - ESPÍRITO SANTO
2005**

SANDRELLY AMIGO LOPES

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E ANATÔMICA DOS EFEITOS DA
DEPOSIÇÃO DE FERRO E DIÓXIDO DE ENXOFRE EM DUAS ESPÉCIES
VEGETAIS OCORRENTES NA RESTINGA: *Schinus terebinthifolius* e
*Mimusopsis coriacea***

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, para obtenção do título de *Maestre scientiae* (Mestre em Biologia Vegetal).

**VITÓRIA - ESPÍRITO SANTO
2005**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFES**

T	Lopes, Sandrelly Amigo Lopes, 1973-
2005	Avaliação fisiológica e anatômicas dos efeitos da deposição de ferro e dióxido de enxofre em duas espécies vegetais ocorrentes na restinga: <i>Schinus terebinthifolius</i> e <i>Mimusopsis coriacea</i> / Sandrelly Amigo Lopes. – Vitória: UFES, 2005.
	Orientador: Luciana Dias Thomaz Tese (mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo
	1. Plantas das restingas - Poluição. 2. Plantas das restingas - Aspectos ambientais. 3. Ecofisiologia vegetal. 4. Monitoramento biológico. I. Universidade Federal do Espírito Santo. II. Título.

SANDRELLY AMIGO LOPES

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E ANATÔMICA DOS EFEITOS DA
DEPOSIÇÃO DE FERRO E DIÓXIDO DE ENXOFRE EM DUAS ESPÉCIES
VEGETAIS OCORRENTES NA RESTINGA: *Schinus terebinthifolius* e
Mimusopsis coriacea.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, para obtenção do título de *Maestre scientiae* (Mestre em Biologia Vegetal).

APROVADA:

Prof.^a. Dr.^a. Luciana Dias Thomaz
(Orientador)

Prof. Dr. Marco Antônio Oliva Cano
(Co-orientador)

Prof. Dr. Geraldo Rogério Faustini Cuzzuol
(Banca examinadora)

*Dedico a Deus e ao universo
com toda sua força e beleza.
A minha família:
mãe, pai, irmã e sobrinha Belinha.
E ao meu amor Diogo, mestres e
amigos sempre presentes
na minha vida...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e em especial:

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Departamento de Ciências Biológicas mais especificamente a Pós-graduação em Biologia Vegetal – ênfase em Fisiologia Vegetal pela oportunidade de realização deste curso;

À Coordenação da Pós-graduação em Biologia Vegetal da UFES e todos os professores que compõem o corpo docente do curso por contribuírem em minha formação e na elaboração deste trabalho;

À Universidade Federal de Viçosa através do Departamento de Biologia Vegetal - Unidade de Crescimento de Plantas pelo apoio técnico, de infra-estrutura e pelas contribuições de profissionais bastante competentes que me auxiliaram neste trabalho;

A Samarco Mineração pelo irrestrito apoio técnico, financeiro, de infra-estrutura em todas as etapas deste trabalho. Incansavelmente disponibilizando todos os recursos necessários, informações e dados disponíveis para a realização deste trabalho em especial a Vitor M. Nunes Feitosa, Fausto Gualberto Lara, Rubens Bechara Junior e Sérgio L. Dias. Agradeço ainda pelo incentivo e investimento desta no meu crescimento pessoal, profissional e científico e pela amizade dos inúmeros colegas que contribuíram de alguma forma para a execução deste trabalho com sugestões e participações, especialmente: Paulo Cezar, Antônio Carlos, Nelson Strutz, Fábio S. Mattos, Lilian Pires e Alessandra Santos de Jesus;

A Prof^a. Dr^a. Luciana Dias Thomaz pela orientação, confiança, contribuições e estímulo no desenvolvimento deste trabalho e ao longo do curso;

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Oliva Cano pela orientação, amizade e contribuições nas discussões deste trabalho, pela disponibilidade e dedicação ao longo dos cinco anos que trabalhamos juntos em pesquisas;

A Dr^a. Luzimar Campos Silva e todos colegas do laboratório de anatomia vegetal da UFV (Técnica:Vânia e Doutorando Bruno) pelas valiosas colaborações durante a execução das técnicas anatômicas, que muito contribuíram neste trabalho;

Aos revisores deste trabalho, Prof. Dr. Reginaldo e Prof. Dr. Geraldo Rogério Faustini Cuzzuol pelas sugestões a este trabalho durante o período de execução;

Ao Prof. Dr. Rogério Luiz Teixeira pelo grande auxílio, disponibilidade e ajuda na execução das análises estatísticas;

Ao amigo Vidalcy Junior da *Viverde Paisagismo*, pelo espaço, estrutura e apoio a este experimento em campo;

Aos colegas do curso (Mirela, Eliomara, Carol, Jane, Mônica, Renata, Nelson, Karla, Wilson e Antelmo) pelo apoio, alegrias, inúmeras descobertas e amizade em todos os momentos;

Em especial ao Rogério Mauro Gomide funcionário do setor de Ecofisiologia Vegetal da UFV pela grande ajuda na realização deste trabalho pelas coletas de dados em campo e amizade em todos momentos;

Aos funcionários do laboratório de Meio Ambiente da Biológica – Samarco/Ubu, Welligton, Alexandre, Márcio, José Luiz e Valdemir pela amizade, convívio e apoio nas etapas de campo e de análises em laboratório;

Ao amigo e funcionário Luiz C. Sant`Ana – Incorpori/Samarco pela colaboração incansável, dedicação e auxílio nas atividades de campo, cuidado e competência na manutenção do experimento;

Ao Puri (Mário) pelo apoio irrestrito, conversas e amizade durante as viagens a Viçosa e aos motoristas da Moura Tour (BH) pela curiosidade, disponibilidade e ajuda em campo;

Aos grandes amigos que me incentivam em todos os desafios, desde as batalhas científicas as pessoais: Marina Bononi, Liam Bononi, Regina Felix, Bianca Lima Felix, Renato R. Souza, Daniela Salaroli Piumbini, Jovana Cunha, Gladstone I. Almeida, Paulo Cezar, Alessandra Jesus, Aline Bueno Pinheiro, Mônica e Ricardo Aquino, Ana Paula Barbosa, Liliam Capistrano, Vidalçy Junior;

Aos mestres Tetê Ayres, Orieta Dalmonechi e Milla Marques com suas sabedorias, amizade e amor;

A minha querida tia Carminha pelo carinho, atenção e cuidados quando pousava em sua casa em Viçosa para trabalhar na Universidade, sem horário para retornar muitas vezes;

A minha amada família mãe, pai, irmã, cunhado e sobrinha (Sônia, Gilberto, Cláudia, Nunes e Gabriela) pelo apoio, confiança e incentivo muitas vezes necessário;

Em especial ao meu amor Diogo Prado Costa Vilareal pelo amor, carinho, parceria e apoio nesta e demais etapas da minha vida;

A amiga Eliana Prado pelo apoio e amizade;

A Deus, anjos e ao universo que com sua força e beleza conspiraram para realização deste sonho.

AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E ANATÔMICA DOS EFEITOS DA DEPOSIÇÃO DE FERRO E DO DIÓXIDO DE ENXOFRE EM DUAS ESPÉCIES VEGETAIS OCORRENTES NA RESTINGA: *Schinus terebinthifolius* e *Mimusopsis coriacea*.

RESUMO – Com o objetivo de avaliar os efeitos da deposição de ferro particulado e do dióxido de enxofre sobre os parâmetros fisiológicos, morfológicos e histoquímicos em *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) e *Mimusopsis coriacea* (Sapotaceae), visando ao biomonitoramento, mudas destas espécies foram expostas à ação de emissões gasosas e particuladas provenientes de uma usina de pelotização, no município de Anchieta, ES, durante um período de oito meses. Foram estabelecidos dois experimentos, no primeiro as espécies foram colocadas em estações padronizadas e distribuídas ao longo de um transecto de acordo com a direção do vento predominante na região, em diferentes distâncias: 200, 500, 800, 1400 e 1700 metros em relação à fonte emissora. O segundo experimento foi avaliando a influência temporal da deposição de ferro particulado em plantas localizadas em estação exposta e não exposta às emissões da área do pátio de estocagem. Mensalmente foram realizadas avaliações quanto à altura, número de folhas, índice de fitotoxicidade, temperatura da massa foliar e o teor de poeira sedimentável. Foram avaliados ainda: a deposição de ferro, o teor de ferro e enxofre das folhas, caule e raiz, teor de pigmentos, as trocas gasosas e o peso seco do material vegetal. A maior deposição de ferro particulado foi verificada a 200m. As duas espécies *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* receberam maior deposição de ferro particulado, por unidade de área foliar também nesta distância. Os maiores teores foliares de ferro total foram verificados a 200m nas duas espécies vegetais, demonstrando uma redução gradativa em função da distância à fonte emissora. O maior teor de sulfato total foi observado em *M. coriacea*, a 200 m e em *S. terebinthifolius* a 500 m da fonte emissora. As necroses e o índice de fitotoxicidade das duas espécies aumentaram com o prolongamento da exposição às emissões da usina. Segundo teste histoquímico *S. terebinthifolius* acumulou maior quantidade de ferro com maior deposição nas reentrâncias nas bases dos tricomas unisseriados e glandulares, *M. coriacea* apresentou menor conteúdo de ferro provavelmente, devido à disposição e textura glabra da folha, dos estômatos em depressão, a presença de hipoderme e cutícula espessa nas duas faces atuando como mecanismos de proteção à entrada de agentes poluentes. No segundo experimento *S. terebinthifolius* apresentou crescimento e aumento do número de folhas durante o período de exposição na estação do pátio industrial. Quanto ao ferro absorvido, em geral, houve um incremento deste nos dois meses após a exposição à usina, estando sempre maiores os valores nas plantas expostas à área industrial para as duas espécies. Foi observado em geral um incremento dos teores de peso seco nas duas espécies, sendo que em *S. terebinthifolius* foi no pátio industrial e em *M. coriacea* na área não exposta. Houve um crescimento exponencial em *S. terebinthifolius* mais acentuado no pátio industrial. O número de flores e frutos foi significativamente reduzido nas plantas expostas às condições industriais. O índice de fitotoxicidade e injúrias apresentaram valores mais elevados na área exposta e aumento gradativo nas duas espécies com relação ao tempo de exposição. Os valores de transpiração, condutância estomática em geral foram mais elevados no local exposto. *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* apresentaram maiores taxas de assimilação de CO₂ ao longo do período de exposição e na área não exposta. Dentre as espécies analisadas *M. coriacea* foi a mais sensível. *S. terebinthifolius* por ser uma espécie resistente pode ser indicada para ser empregada em recuperação de áreas alteradas por mineração, pela sua taxa de crescimento rápida e plasticidade genotípica.

PHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL ANALYSIS OF THE EFFECTS FROM IRON PARTICLE SETTLING AND SULPHUR DIOXIDE IN TWO NATIVE SPECIES OF THE LOWLANDS.

SUMMARY – The objective is to analyze the effects of the settling of iron particles and of sulphur dioxide on the growth, on the physiological parameters and morphological and histo-chemical parameters, aiming at active bio monitoring. *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) and *Mimusopsis coriacea* (Sapotaceae) seedlings were exposed during an eight-month period to the gas and particle emissions of a pelletizing plant located in the municipal region of Anchieta, State of Espírito Santo. The plant species were selected because of what they represent in the lowlands environment, and because they are used for the purpose of planting trees in urban areas. These species' uncomplicated planting care, as well as their morphological, phonologic and physiological characteristics, were also taken into consideration. Two experiments were conducted. In the first experiment, the species were placed in standard stations and spread throughout a transect according to the predominant wind direction in the region and at different distances: 200 meters, 500 meters, 800 meters, 1,400 meters and 1,700 meters away from the source of the emissions. The second experiment focused on temporal evaluation conducted at a station located in a product stocking and handling yard and in a reference area. Analyses were made of the trees' height, the number of leaves, and the number and percentage of dead leaves, the foliar phyto-toxic chlorosis index, the foliar temperature, the temperature-related difference and the air, and the sedimentary dust content. The following data was analyzed on the last data gathering date: the settling of iron on the leaves, the iron and the sulphur content of the leaves, stems and roots, the chlorophyll a and b content, the gas exchange and the total dry mass of the plant material. In the second experiment, these analyses were conducted monthly, and included the number of flowering or non-flowering events, and the number of fruit or branches with fruit. The highest deposits of iron particles were verified at 200 meters. A higher quantity of settled iron particles per leaf area unit was observed at this same distance in the two species, *S. terebinthifolius* and *M. coriacea*. The highest foliar contents of total iron were verified at 200 meters in both plant species; that is, at the station located closest to the pelletizing plant, showing a gradual reduction as the distance from the emission source increased. The highest iron contents were found in the roots of both species. The highest content of total sulphate was observed in the *M. coriacea*, at 200 meters and in the *S. terebinthifolius* at 500 meters away from the emission source. There is a positive correlation between the foliar area and the settling of iron. No height-related variations were verified in the two species. The percentage of dead leaves was verified only in the *S. terebinthifolius* species lying at 500 meters and 800 meters away from the source. The number and the percentage of dead leaves and the necrosis phyto-toxicity index in the two species increased as exposure time to the plant's emissions was extended. The same event was verified in the *M. coriacea* species lying 800 meters and 1,400 meters away from the source. A higher necrosis-related phyto-toxicity index of the *M. coriacea* was verified in the exposed plants located 200 meters and 1,400 meters away, whereas the highest such index for the *S. terebinthifolius* species was verified in the plants located 1,400 meters away. The pigment content of both species did not change because of the distance from the emission source. However, a slight reduction in the content of a and b chlorophyll and in the carotene content was verified at 800 meters. In general, the gas exchanges, that is, the reduction of the stoma conductance of the

transpiration and the liquid assimilation of CO₂ in the *S. terebinthifolius* and *M. coriacea*, were lower at the stations located next to the plant. In other words, the related levels were generally lower at the stations lying closer to the emission source. *M. coriacea* proved to be more sensitive, with symptoms of damage to fluorescence at 200, 500 and 1,400 meters, whereas in relation to *S. terebinthifolius*, reduced damage was evidenced at 500 meters. In relation to the histo-chemical test, *S. terebinthifolius* accumulated higher amounts of iron with higher settling at the re-entering angles at the bases of the uni-serial glandular trichomas, while *M. coriacea* had a lower iron content, probably because of the leaves' arrangement and smooth texture, the stomas hollows, the existence of thick hypodermis and cuticles on both sides of the leaves, acting as protection mechanisms to prevent the entry of polluting agents. As for the second experiment, there was higher settling of particles on the surface exposed to industrial activities conducted at the product stocking and handling yard, in contrast to the surface that had not been exposed. The exposed plants contained higher settlement and accumulation of iron in the case of both species. The settling and accumulation of iron increased in the *S. terebinthifolius* species during the exposure period, as did the number of this species' leaves. This increase was verified to a greater extent at the station located in the industrial yard. This was not evidenced in relation to *M. coriacea*. Settling was reduced because of the rainy season. As for iron absorption, there was an increase, in general terms, for a period of two months after exposure to the facility. The figures related to iron accumulation in the plants exposed to the industrial area were higher for both species. Most of the accumulated iron was verified mainly in the roots of both species. A general increase in the content of plant species material was verified in both species. The growth in this material in *S. terebinthifolius* was verified in the industrial yard, while this growth in *M. coriacea* was verified in an area that had not been exposed to atmospheric emissions. There was no temporal variation in the height of the *M. coriacea* at the two stations, whereas there was more pronounced exponential growth of this material in the *S. terebinthifolius* located at the industrial yard. The quantity of flowers and fruit was significantly reduced on plants exposed to industrial conditions. The incidence of damage, measured according to the percentage of necrosis and to the phyto-toxicity index, was higher in the areas exposed to industrial emissions. Damage increased gradually in both species in relation to exposure time. There was no variation in the chlorophyll or in the carotenoids. The figures related to transpiration and stoma conductance in general were higher in the exposed areas. *S. terebinthifolius* and *M. coriacea* had higher CO₂ assimilation rates throughout the exposure period and on the non-exposed area. Fluorescence for the two species was more affected during the month of August, probably as a result of the iron that had been absorbed and of the accumulation of iron particles in July, which were absorbed in the roots as a result of the rainfall in that month. According to histo-chemical tests, the species accumulated more iron on the exposed area and the *S. terebinthifolius* species accumulated higher quantities of iron than the *M. coriacea* did because of the former species' morphological and anatomical characteristics, as mentioned above. *M. coriacea* was the more sensitive of the species. Both species are reaction bio indicators, and can be used in active bio indication. *S. terebinthifolius* is a resistant species that can be used in the reclaiming of areas damaged by mining activities because of its rapid growth rate and gene-typical plasticity.

1 – ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – (A) Precipitação pluviométrica e temperatura na área de estudo no período de exposição ativa (maio a dezembro de 2004).....	26
Gráfico 02 – Teor de Poeira Sedimentável (A), Concentração de SO ₂ (B) e PTS (C) na qualidade do ar. Padrão secundário segundo a resolução CONAMA nº. 03/1990.....	30
Gráfico 03 – A – Deposição de Poeira Sedimentável em folhas: de <i>S. terebinthifolius</i> . B - de <i>M. coriacea</i> . C – Teor de Ferro Total absorvido em <i>S. terebinthifolius</i> e <i>M. coriacea</i> medidos após oito meses após a exposição às emissões da usina D – Teor de sulfato total absorvido em <i>S. terebinthifolius</i> e <i>M. coriacea</i> medidos após oito meses após a exposição às emissões da usina.....	36
Gráfico 04 – Efeito da distância do emissor sobre o ferro total (A), teor de ferro em folha, caule e raiz (B), ferro total absorvido em folha, caule e raiz (C) de <i>S. terebinthifolius</i> em diferentes distâncias da fonte emissora, ferro total absorvido em folha, caule e raiz (D) de <i>M. coriacea</i> em diferentes distancias da fonte emissora.	38
Gráfico 05 – Deposição de Poeira Sedimentável total em folhas de <i>S. terebinthifolius</i> e correlação com a área foliar (Af), Deposição de Poeira Sedimentável total em folhas de <i>M. coriacea</i> (B) e correlação com a área foliar.	39
Gráfico 06 – Efeito da distância da fonte emissora sobre plantas expostas a emissões da usina após oito meses de exposição sobre Matéria Seca Total (A), Altura (cm) (B), Número de Folhas (C), Área Foliar nas cinco distâncias (D) área foliar de <i>S. terebinthifolius</i> e <i>M. coriacea</i> (E) e Número de Folhas de <i>S. terebinthifolius</i> e <i>M. coriacea</i> (F).....	42

Gráfico 07 – Relação entre o Índice de fitotoxicidade e a distância da fonte emissora apresentadas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* após exposição de oito meses. Percentual de folhas necrosadas (A). Índice e Fitotoxicidade (B).....43

Gráfico 8 – Relações entre a distancia da fonte emissora e a diferença da temperatura do ar-folha ($t_a - t_l$) (A e B), transpiração (E) (C e D) e condutância estomática (gs) (E e F). em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*.....45

Gráfico 9 – Relações a fonte emissora em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* expostas à deposição de ferro particulado e dióxido de enxofre por oito meses. A– Fluorescência (Fv/Fm). B – Assimilação líquida de CO₂ (A). C – Teor de Clorofila a, b e carotenóides em *S. terebinthifolius*. D - Teor de Clorofila a, b e carotenóides em *M. coriacea*.....47

Figura 10 – Deposição de ferro através da Poeira Sedimentável. A e B -Deposição de ferro através da poeira sedimentável durante oito meses de exposição das plantas em área exposta e não exposta às emissões da usina e pátio de estocagem, transporte e manuseio de produtos de minério de ferro e um controle ausente total de exposição das emissões.....53

Gráfico 11 - Teor de ferro em áreas não expostas e expostas às emissões da usina e pátio de estocagem, transporte e manuseio de produtos de minério de ferro. A – Teor de ferro total depositado em folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. B – Deposição mensal de ferro na superfície foliar de *S. terebinthifolius*. C – Deposição mensal de ferro na superfície foliar de *M. coriacea*. D – Teor de ferro total absorvido em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* E – Teor de ferro absorvido mensalmente em *S. terebinthifolius*. F – Teor de ferro absorvido mensalmente em *M. coriacea*.55

Gráfico 12 – Ferro absorvido pelas plantas das espécies *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. A - Teor de ferro em folha, caule e raiz de *S. terebinthifolius*. B – teor de ferro em folha, caule e raiz de *S. terebinthifolius*. C – Teor de ferro em folha, caule e raiz de *M. coriacea*.....56

Gráfico 13 – Ação do ferro sobre A – Peso seco de *S. terebinthifolius*. B – Peso seco de *M. coriacea*. C – Altura em *S. terebinthifolius*. D – Altura em *M. coriacea* em área considerada não exposta e exposta as emissões industriais.....58

Gráfico 14 – Ação do ferro particulado sobre o A – Número de folhas totais em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. B – Número de folhas em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C - Número de folhas em *M. coriacea* exposta e não exposta as emissões industriais durante oito meses. D – Número total de racemos de flores. E – Número de racemos de flores ao longo de oito meses de exposição de *S. terebinthifolius*. G – Número total de infrutescências. H - Número de infrutescências ao longo de oito meses de exposição de *S. terebinthifolius*.....59

Gráfico 15 – Sintomatologia e Injúrias. A– Percentual de folhas necróticas total em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. B- Percentual de necrose em folhas de *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C - Percentual de necrose em folhas de *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....60

Gráfico 16 – Fitotoxicidade. A– Fitotoxicidade total das injúrias das folhas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. B- Índice de Fitotoxicidade de necrose em folhas de *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C – Índice de Fitotoxicidade de necrose em folhas de *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....61

Gráfico 17 – Ação das deposições de ferro sobre o A– Número total de folhas necrosadas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. B-Número de folhas necrosadas em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C – Número de folhas necrosadas em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....62

Gráfico 18 – Ação das deposições de ferro sobre a Área foliar específica inicial e final. A - Área foliar específica em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais. B - Área foliar específica em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais.....63

Gráfico 19 – Ação das deposições de ferro sobre a temperatura foliar deA – Diferença total de temperatura ar-folha em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* e ao longo do período de exposição. B – Diferença de temperatura ar-folha *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C - Diferença de temperatura ar-folha *S. M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....67

Gráfico 20 – Ação das deposições de ferro sobre a: Transpiração total em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* e ao longo do período de exposição(A). B – Transpiração em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C – Transpiração em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....68

Gráfico 21 – Ação das deposições de ferro sobre a – A– Condutância estomática em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. B- Condutância estomática em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....69

Gráfico 22 – Ação das deposições de ferro sobre a – A– Fluorescência em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. B- Fluorescência em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. C – Assimilação líquida de CO₂ em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. D - Assimilação líquida de CO₂ em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses.....70

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 (A) – Localização das estações de biomonitoramento ativo na região da usina de pelotização, Ponta Ubu/Anchieta/ES.....33
- Figura 01 (B) – Detalhe da área industrial e da região de localização das estações de biomonitoramento ativo na região da usina de pelotização, Ponta Ubu – Anchieta/ES.....34
- Figura 02 –Localização da área de influência direta (AID) da usina (linha amarela), onde está localizada a estação exposto às emissões industriais e mais afastado ao norte, a estação de referencia localizada em Meaípe (Guarapari), considerada área não exposta às emissões da usina e pátio de estocagem, transporte e manuseio de produtos de minério de ferro.....35
- Figuras 03- 10 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas a 200 metros da área exposta às emissões da usina e mais afetada com e sem corante azul de Prússia. Figuras 03, 04, 05 06 e 07 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *S. terebinthifolius* expostas durante oito meses a 200 metros da fonte emissora, com azul de Prússia, observados ao microscópio fotônico. Presença de C – Cutícula, E – epiderme, Co – colênquima, Xi – xilema, E – estômatos.....51
- Figuras 11 - 16 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas a 200 metros da área exposta às emissões da usina e, mais afetada com e sem corante azul de Prússia. Figuras 11, 12 e 14 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *M. coriacea*.....52
- Figuras 17 - 20 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas em não exposta e exposta às emissões da usina. Figuras 17 - 20 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *M. coriacea* expostas a fonte emissora, com azul de Prússia, observados ao microscópio fotônico. Presença de C – Cutícula, E – epiderme, NM –nervura mediana. Barras = 50 µm.....73

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Localização geográfica da fonte emissora (usina de pelotização) e da estações de amostragem abaixo descritas foram determinadas através de GPS.....	32
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AID – Área de Influência Direta

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

BH – Belo Horizonte

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

EIA – Estudo de Impactos Ambientais

ES – Espírito Santo

RIMA – Relatório de Impactos ao Meio Ambiente

PTS – Partículas Totais em Suspensão

PS – Poeira em suspensão

UFV – Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1. Introdução	23
2. Material e métodos	28
2.1 Características da área de estudo	28
2.1.1 Experimento I: Estudo de um gradiente espacial de deposição particulada ...	31
2.1.2 Experimento II: Ação do ferro particulado e SO ₂ em escala temporal	35
2.2 Parâmetros climatológicos e de qualidade do ar	36
2.3 Parâmetros Morfológicos.....	37
2.4 Parâmetros Fisiológicos	37
2.5 Parâmetros Anatômicos	38
2.6 Delineamento experimental	38
3. Resultados	39
3.1 Caracterização das espécies	39
3.2 Qualidade do ar.....	40
3.3 Ação espacial da deposição de ferro particulado e dióxido de enxofre	40
3.4 Ação temporal da deposição de ferro particulado e dióxido de enxofre	54
4 Discussão	73
5 Considerações Gerais	84
6 Bibliografia	86

1 – Introdução

O estresse causado por excesso de ferro no solo ou na planta, pode ocasionar perdas na produtividade, especialmente em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais (FAGERIA e RABELO, 1987). Ele pode ser observado em ecossistemas florestais, localizados próximos a fontes de poluição, como usinas de siderurgia, pelletização e regiões de mineração (GALLEGO *et al.*, 1996).

O impacto das condições ambientais, por ações antropogênicas, afeta todos os componentes da biosfera e, como consequência, os componentes do bioceno. Algumas usinas atuam como fontes emissoras de ferro particulado e gases tóxicos, como óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido e dióxido de carbono (CO) que, em contato com a água da atmosfera, podem formar precipitação, nevoeiro ou aerossóis ácidos, que afetam diretamente as plantas e alteram as condições físico-químicas do solo (TRESHOW, 1984).

Usinas de pelletização de minério de ferro são responsáveis pela emissão de dióxido de enxofre (SO₂) resultante da queima de combustíveis fósseis. As emissões de ferro particulado se encontram restritas a certas áreas da usina, estando presente, principalmente nas unidades de recebimento de insumos, preparação e mistura, de endurecimento das pelotas e na área de estocagem e transporte de produtos (SAMARCO - EIA RIMA, 1995).

A quantidade de poluentes liberados está diretamente relacionada com a produção das usinas e a qualidade do combustível empregado, bem como da eficiência dos equipamentos ou mecanismos de controle ambientais empregados em cada uma das etapas do processo produtivo (OTTAWAY, 1982). Entretanto, a deposição formada por uma mistura de poluentes contendo partículas de vários tamanhos, origens e composições químicas, depende das condições meteorológicas locais que influenciam a precipitação e/ou deposição de poeira sedimentável (partículas de ferro).

Em relação ao tamanho das partículas que compõem a poeira sedimentável pode ser classificada, em deposição fina (com 0-2,5 µm de diâmetro) e deposição grossa (com 2,5 a 10 µm de diâmetro) (GRANTZ *et al.*, 2003). Chamberlain *et al.*, (1975) demonstraram que a deposição destas partículas ocorrem de forma muito variada, podendo ser por processos de colisão, sedimentação, interceptação e

movimento Browniano, dependendo do tamanho da partícula, velocidade do vento, natureza e características da superfície das plantas e aderência da partícula.

A dinâmica da dispersão de elementos traço, como o ferro, pode variar com os diferentes fatores, dentre os quais pode-se destacar a temperatura do ar, a altura da chaminé, a frequência e a intensidade do vento, a precipitação e a presença de água em suspensão (aerosol marinho). O aerosol marinho, que pode aderir às partículas em suspensão pode influenciar a distância da deposição. Devido à grande concentração de sódio e cloreto que apresenta, é extremamente tóxico para as plantas, e quando aderido ao ferro particulado, pode produzir necroses foliares, contribuindo também para a eliminação das espécies locais intolerantes ao spray salino (GRANTZ *et al.*, 2003).

O baixo pH da chuva contribui para a acidificação dos solos e torna disponíveis nutrientes que, em concentrações elevadas, podem ser tóxicos para as plantas, especialmente os metais pesados e minérios como o ferro (MOMEN & HELMS, 1996). O decréscimo de uma unidade de pH na solução do solo promove a redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} , aumentando em até 1000 vezes a concentração de ferro solúvel.

A resolução nº 3 de 28 de junho de 1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) prevê níveis para os padrões primários e secundários de qualidade do ar estabelece para partículas totais em suspensão (PTS), que o nível de padrão primário é de $80\mu g.m^{-3}$ de ar, de média geométrica anual, e $240\mu g.m^{-3}$ de ar em 24 horas e que não deve ser ultrapassado mais de uma vez por ano. O padrão secundário é de $60\mu g.m^{-3}$ de PTS, como média mensal, e concentração média de 24 horas de $150\mu g.m^{-3}$ de PTS. Para o SO_2 , é admitido como padrão primário $80\mu g.m^{-3}$ de ar de média geométrica mensal e $365\mu g.m^{-3}$ de ar em 24 horas que não deve ultrapassar mais de uma vez por ano. O padrão secundário é de $40\mu g.m^{-3}$ de ar de média geométrica mensal e $100\mu g.m^{-3}$ de ar em 24 horas que não deve ser excedida mais de uma vez por ano (CONAMA, 1990).

Nem todas as espécies de uma comunidade vegetal reagem da mesma forma e com a mesma intensidade aos ataques de poluentes. A clorose e a necrose são sintomas de efeitos irreversíveis nas plantas (LAURENCE *et al.*, 1985). A deposição particulada pode afetar a vegetação diretamente, pela deposição na superfície foliar, ou indiretamente pela deposição no solo, alterando suas propriedades químicas ou diminuindo a radiação que chega à superfície da terra (GRANTZ *et al.*, 2003).

As condições climáticas locais também contribuem para que a sintomatologia seja ainda mais específica. Isto significa que o impacto da imissão sobre a vegetação não é homogênea, e que conseqüentemente, sua degradação é seletiva e, as alterações na composição florística e nas relações fitossociológicas são a conseqüência imediata.

Tendo em vista que as plantas apresentam diferenças de sensibilidade à poluição, suas respostas podem ser muito variadas. O crescimento de uma espécie pode, por exemplo, ser estimulado em função do efeito inibidor da poluição sobre a outra espécie. Este fato pode alterar a competição natural entre as espécies, dando espaço às espécies oportunistas, que descaracterizam a vegetação original (MURRAY, 1981; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997; DOMINGOS *et al.*, 2000).

Nas folhas, a deposição particulada de ferro produz alterações na transpiração, na fotossíntese e no balanço térmico das mesmas, por obstruir os estômatos. A clorofila pode ter sua síntese reduzida, devido à redução na luz que chega à folha, ou pode, ainda, ser degradada, devido aos estresses oxidativos produzidos pelo excesso de íons de ferro livre (GALLEGO *et al.* 1996; VANSUYT *et al.* 1997; FOURCROY, 1999).

No ecossistema, a deposição particulada pode alterar a ciclagem de nutrientes, inibindo a sua absorção, reduzindo o crescimento, a floração, a frutificação e alterando a diversidade específica, pela eliminação local das espécies mais sensíveis, entre outros (GRANTZ *et al.*, 2003).

A ação do SO₂ está associada à forma de como o poluente é incorporado na planta e aos seus efeitos cumulativos. Na forma gasosa, normalmente ele penetra via estômatos e se solubiliza na câmara sub-estomática, gerando H₂SO₃ e, por oxidação posterior, o H₂SO₄. Ambos são fortes oxidantes, que afetam a fotossíntese pela degradação da clorofila (ZAFFARI e OLIVA, 1989).

Existem diversas metodologias para avaliar os impactos dos poluentes atmosféricos nas plantas, porém as mais empregadas, são as metodologias “in vivo” que permitem monitorar os processos fisiológicos alterados pela ação de poluentes. O emprego de métodos não-invasivos em espécies nativas é uma ferramenta imprescindível, pois parâmetros ecofisiológicos como fotossíntese, respiração, fluorescência, transpiração, temperatura foliar, teor de clorofila e outros podem ser avaliados em campo, sem destruir as plantas, permitindo um acompanhamento temporal dos reais efeitos da poluição. Para tanto, estudos prévios com cada espécie

em particular são necessários para a correta interpretação dos dados, antes de extrapolar a análise dos efeitos da poluição para a vegetação como um todo.

Devido às respostas diferenciadas das plantas à poluição, estas podem ser usadas como bioindicadoras da qualidade do ar. Algumas espécies são particularmente susceptíveis à poluição (bioindicadores de reação), enquanto outras podem acumular os poluentes em altas concentrações sem que sintomas visíveis sejam observados (bioindicadores de acumulação) (MUDD e KOZLOWSKI, 1975; KOZLOWSKI, 1980; ARNDT *et al.*, 1995). Os bioindicadores podem ser empregados como passivos, quando estão presentes em seu ambiente natural, ou ativos, quando são introduzidos, de forma padronizada, na área de estudo (ELLENBERG *et al.*, 1991).

A escassez de dados sobre a sensibilidade das espécies tropicais em relação à poluição limita os possíveis programas de biomonitoramento e avaliação de impactos ambientais, reforçando a necessidade de mais estudos sobre essas espécies.

Ellenberg *et al.*, (1991) listaram possíveis bioindicadores tropicais e subtropicais, relatando para o Brasil apenas *Tillandsia aeranthos* (Bromeliaceae) como bioindicador passivo da presença de SO₂ (STREHL E ARNDT, 1989). Em 1998, Klumpp *et al.* observaram que *Tibouchina pulchra* (Melastomataceae) poderia ser usada como bioindicadora de acumulação dos elementos: flúor, enxofre, nitrogênio, ferro, manganês e zinco. Com relação ao fluoreto, Arndt *et al.* (1995) listaram espécies tropicais e subtropicais, brasileiras e de outros países, em sensíveis e tolerantes. Algumas gramíneas tropicais também foram testadas em relação ao fluoreto (FIGUEIREDO, 1994; CHAVES, 1997; DIVAN JÚNIOR, 2002). Avaliando os efeitos da deposição de particulado de ferro e do SO₂ em vegetação de restinga foram estudadas por Lopes *et al.*, (2000) as espécies *Sophora tomentosa* L. (Fabaceae), uma espécie da família Myrtaceae e *Rheedia brasiliensis* Mez. (Clusiaceae) e, recentemente, em *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae), *Clusia hilariana* Schlecht. (Clusiaceae), *Byrsonima sericea* DC. (Malpighiaceae), *Cordia verbenacea* DC. (Boraginaceae) e *Psidium guianense* SW. (Myrtaceae) (SILVA, 2003).

As hipóteses a serem testadas neste trabalho são de que as plantas nativas apresentam sensibilidade distinta a diferentes poluentes atmosféricos, permitindo avaliar os efeitos da poluição utilizando espécies vegetais na bioindicação.

2- Objetivos:

2.1 - Objetivo Geral

Avaliar as alterações morfofisiológicas, fenológicas e anatômicas provocadas pelas emissões atmosféricas (deposição de ferro particulado e SO₂) de uma mineradora, utilizando espécies vegetais ocorrentes na restinga como bioindicadores, respectivamente, *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae*.

2.2 - Objetivos Específicos

1. Avaliar a extensão geográfica (espacial) da influência das emissões industriais na qualidade do ar através de vegetação exposta e monitorada;
2. Avaliar o efeito temporal das emissões atmosféricas nas plantas expostas;
3. Selecionar espécies resistentes que possam ser empregadas na recomposição florística dos ecossistemas afetados por atividade industriais;
4. Diagnosticar o efeito das emissões atmosféricas no comportamento morfofisiológico, anatômico e bioquímico de *S.terebinthifolius* e *M. coriacea*;
5. Avaliação da qualidade do ar e alterações nas plantas expostas a uma região não afetada e outra região afetada por atividade de uma mineradora;
6. Identificar entre as espécies estudadas as mais sensíveis e tolerantes as condições ambientais a que estão expostas;
7. Divulgação de técnicas de biomonitoramento para monitorar a qualidade do ar e os padrões de emissão atmosférica;
8. Fornecer informações que orientaram a elaboração de planos de ação visando a melhoria da qualidade do ar e da qualidade de vida das comunidades;
9. Contribuir para a padronização de métodos de biomonitoramento em nível brasileiro, principalmente no que diz respeito à definição de padrões de qualidade do ar e legislação ambiental;
10. Relacionar os efeitos observados nas plantas com a produção industrial e os padrões secundários de qualidade do ar vigentes.

3 - Material e Métodos

Todos os experimentos foram realizados com *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira) e *Mimusopsis coriaceae* (D.C) Miq. (in Mart.) (Abriçó), escolhidas pela representatividade e frequência na área de estudo, bem como, pela disponibilidade das mudas e, facilidade de cultivo e importância como vegetação utilizada na recuperação e arborização de cidades da área litorânea. Indivíduos de ambas as espécies, selecionadas por altura, número de folhas e estado fitossanitário, foram empregadas num sistema de monitoramento ativo dentro da área de uma usina de pelotização de minério de ferro em Ubu, no município de Anchieta (E.S.).

Mudas com quatro meses de idade foram transferidas para vasos plásticos 5 litros foram preenchidos com mistura de areia, terra e húmus, na proporção de 3:1:1. As plantas foram colocadas sob um sistema de irrigação automático, na qual o vaso era conectado através de um pívio a um depósito de água deionizada, que garantia a manutenção do potencial hídrico do solo. Os vasos foram fertilizados mensalmente com adubo químico, aplicado diretamente no solo (15% de N total e P_2O_5 , K_2), 1,1% de Ca, 4% de S, 0,4% de Mg, 0,05% de Zn e B, 0,1% de Fé e 0,03% de Mn).

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo pertence ao complexo industrial de pelotização de minério de ferro, localizada no município de Anchieta, na região litorânea do Espírito Santo sob as coordenadas geográficas 20° 46' 21,0" S e 40° 34' 52,3" W. Encontra-se localizada na região ecológica 1, segundo Martins (1992), parcialmente rodeada de uma vegetação com uma composição fitossociológicas remanescente das restingas do município de Anchieta (SAMARCO MINERAÇÃO, 1995).

O clima é do tipo Aw, tropical quente e úmido com um a dois meses de seca (KÖPPEN, 1918). O vento predominante é o nordeste, com velocidade máxima média de 1,9m/s. A temperatura do ar varia entre 20,71°C a 25,62°C, com média de 23,4°C. A precipitação pluviométrica varia de 20,4 a 308,7 mm sendo que a maior precipitação ocorreu no mês de dezembro. A média para o período foi de 65,7mm (Figura 01).

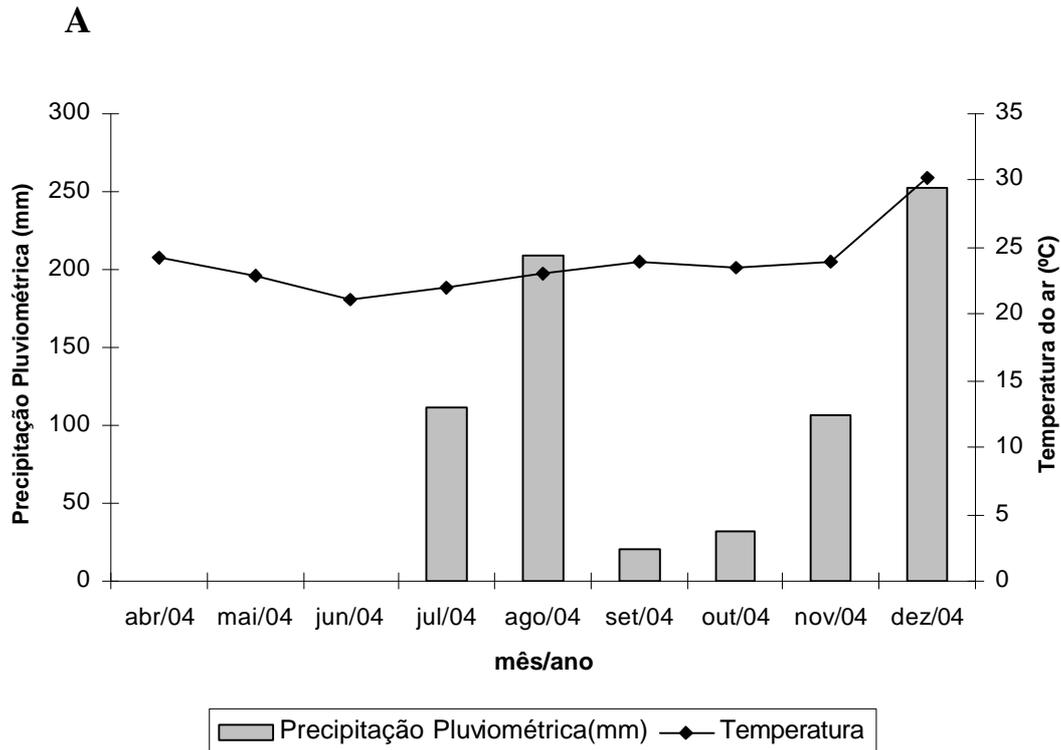


Figura 01 – (A) Precipitação pluviométrica e temperatura na área de estudo no período de exposição ativa (maio a dezembro de 2004).

Foram desenvolvidos dois experimentos de biomonitoramento ativo, descritos a seguir:

2.1.1 - Experimento I: Estudo de um gradiente espacial da deposição de ferro particulado e SO₂

As plantas foram expostas em estantes padronizadas, denominadas estações. Estas estações foram elaboradas de acordo com padrões internacionais de controle da qualidade do ar para bioindicadores (ARNDT e SCHULTER, 1985) e expostas durante o período de abril a novembro de 2004. As estações foram distribuídas ao longo de um transecto (Figura 02 A e B) determinado de acordo com a direção predominante do vento na região (NE) e dispostas a 200, 500, 800, 1400 e 1700 metros de distância em relação a principal fonte emissora da usina (Tabela 01). Esta distribuição foi estabelecida, previamente, mediante um estudo estatístico acoplado a uma modelagem de dispersão de dióxido de enxofre (QUEIROZ, 1998), realizada com um simulador Industrial Source Complex Short Term – ISCST3 da Environmental Protect Agence (EPA).

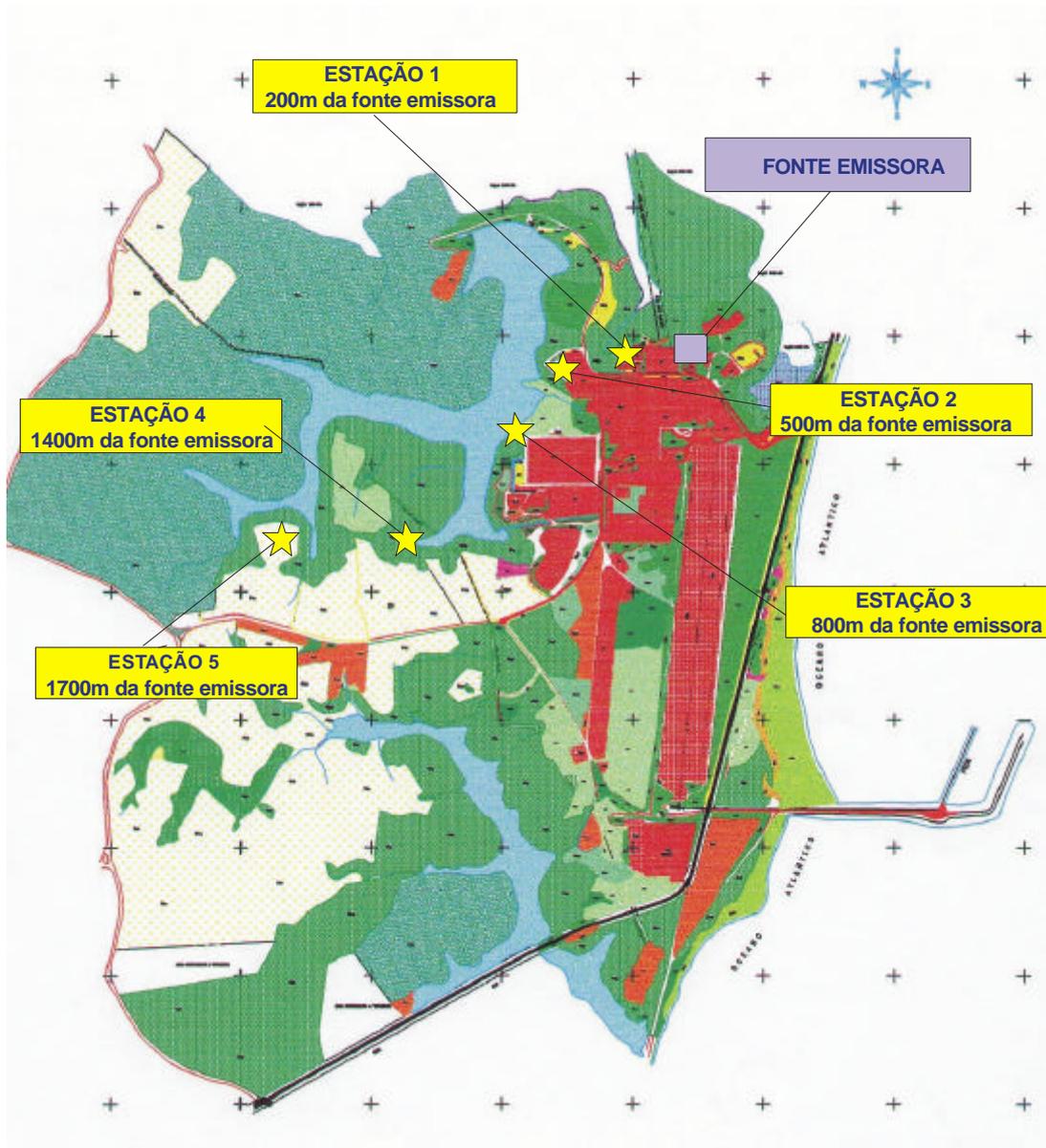


Figura 02– (A) Localização das estações de biomonitoramento ativo na região da usina de pelotização, Ponta Ubu – Anchieta/ES.

Tabela 1- Localização geográfica da fonte emissora (usina de pelotização) e das estações de amostragem em Ponta Ubu, Anchieta/E.S. abaixo descritas foram determinadas através de GPS.

Estações	Distância da fonte emissora (m)	Coordenadas Geográficas
Fonte emissora - Usina	0	20°46'21,0" S e 40°34'52,3" W
1	200	20°46'25,0" S e 40°34'58,9" W
2	500	20°46'28,0" S e 40°35'10,1" W
3	800	20°46'35,8" S e 40°35'14,9" W
4	1400	20°46'51,2" S e 40°35'29,8" W
5	1700	20°46'42,2" S e 40°35'47,3" W

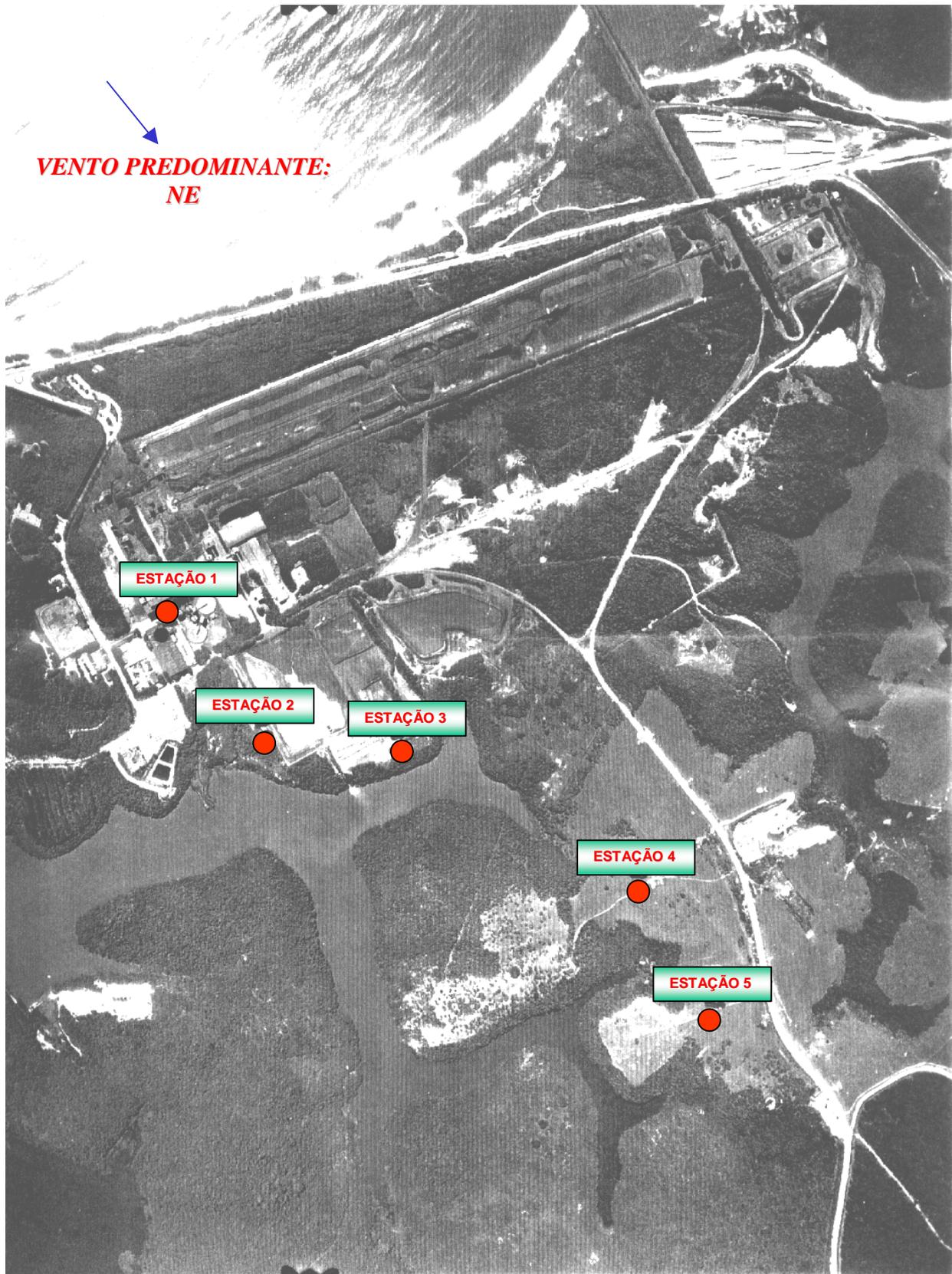


Figura 03 – Detalhe da área industrial e da região de localização das estações de biomonitoramento ativo na região da usina de pelotização, Ponta Ubu – Anchieta/ES.

Experimento II - Ação do ferro particulado e SO₂ em escala temporal.

O segundo experimento foi realizado durante o período de abril a novembro de 2004, objetivando o estudo do impacto da poeira sedimentável gerada pela movimentação e manuseio dos “pellets” e finos do pátio de estocagem e transporte de minério de ferro para as espécies testes. Para isto foram estabelecidas duas estações de monitoramento. Uma localizada fora da área industrial, na região de Meaípe, distante 5 km da Usina e denominada como estação de referência, não estando exposta as emissões da usina e uma outra estação localizada dentro da área do pátio de estocagem e transporte de minério de ferro, sob maior influencia das emissões difusas deste material.

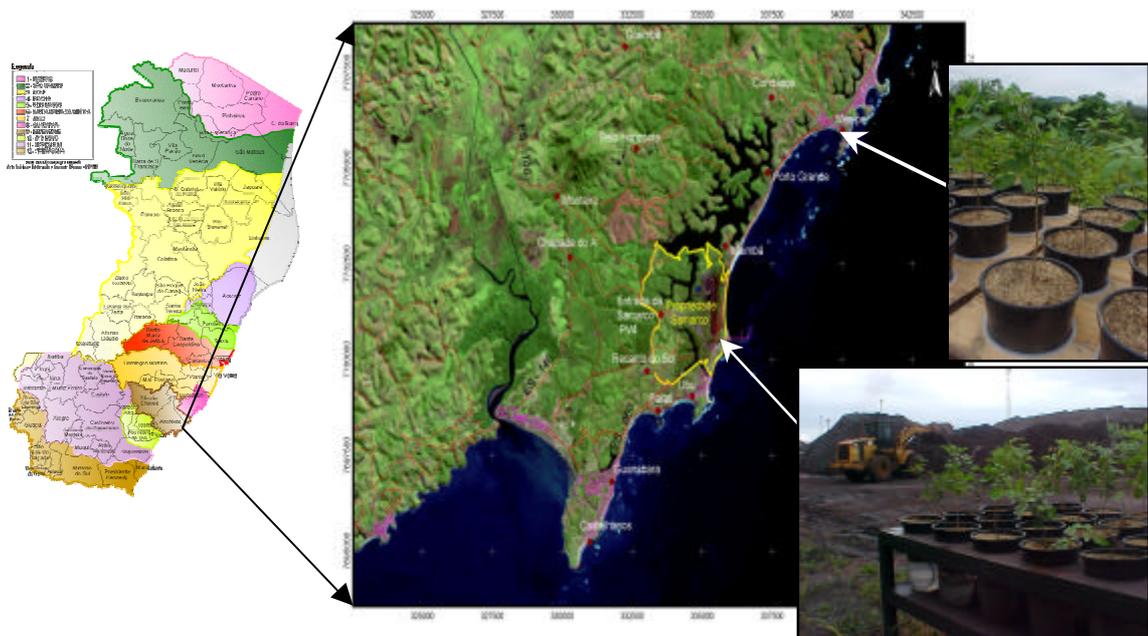


Figura 04 – Localização da área de influência direta (AID) da usina (linha amarela), onde está localizada a estação exposta às emissões industriais e mais afastado ao norte, a estação de referência localizada em Meaípe (Guarapari/ES) distante a 5 km da usina, considerada área não exposta às emissões da usina e pátio de estocagem, transporte e manuseio de produtos de minério de ferro.

Para os experimentos I e II foram determinados os seguintes parâmetros:

2.2 Parâmetros Climatológicos e de Qualidade do Ar

As condições climáticas foram monitoradas em Estação Meteorológica (Campbell Scientific Inc.) instalada na mesma linha do transecto de exposição, onde foram avaliadas a direção e a velocidade do vento, a pluviometria e a temperatura ambiente. As concentrações do SO₂ e do material particulado emitidos foram obtidas na estação localizada a 1700 m, no mesmo transecto da área de estudo, por meio dos aparelhos de campo Hi-Vol e Tri-gás. As concentrações SO₂ foram obtidas pelo método do peróxido de hidrogênio e de partículas totais em suspensão pela diferença do peso final do filtro coletado durante 24 horas a cada seis dias pelo amostrador de grandes volumes (Hi-VoL) (CONAMA, 1990). Em cada estação foi determinado o teor de poeira sedimentável segundo norma MF 609 especificada pela FEEMA (1983), onde a poeira é coletada durante 30 dias em frasco padronizado, sendo essa suscetível à coleta por sedimentação livre e composta de partículas sólidas e líquidas, suficientemente grandes para se depositarem no frasco coletor e bastante pequeno para atravessarem a peneira de 0,84 mm (20 meshes). A poeira sedimentável foi determinada por gravimetria através da vaporização de fase líquida da solução de amostragem.

Para determinação da deposição particulada sobre as folhas, três folhas de *S. terebinthifolius* e duas folhas de *M. coriaceae* foram limpas em papel de filtro, previamente pesadas e umedecidas com água destilada. Após secagem, em temperatura ambiente até peso constante, foi calculada a quantidade de ferro depositado sobre a folha pela diferença no peso do papel de filtro (STEUBING e FRANGMEIER, 1992). Em seguida, foram medidas as áreas foliares, utilizando-se um medidor fixo de área foliar T Área Meter MK2.

No final de cada experimento foram determinadas as absorções de ferro pela folha, caule e raiz. Para determinação dos teores de ferro e enxofre no material vegetal foi realizada uma amostragem composta de 5 plantas foram extraídas 15 folhas de *S. terebinthifolius* e 5 folhas de *M. coriaceae*, e foram lavadas em água corrente, depois em água deionizada e secas com papel de filtro. Após secagem em estufa à temperatura de 75°C±5°C, as amostras foram moídas através de peneira

com malha de 1 mm. Os teores de sulfato e de ferro foram determinados mediante espectrofotometria de absorção atômica segundo Standard Methods (2000). As leituras foram realizadas em amostras compostas.

O segundo experimento foi realizado durante o período de abril a novembro de 2004, objetivando o estudo do impacto da poeira sedimentável gerada pela movimentação e manuseio dos “pellets” e finos do pátio de estocagem e transporte de minério de ferro para as espécies testes. Para isto foram estabelecidas duas estações de monitoramento, uma fora da área industrial, denominada como estação de referência, não estando exposta as emissões da usina e outra estação localizada dentro da área do pátio de estocagem e transporte de minério de ferro, local de maior exposição às emissões difusas do ferro particulado.

2.3 Parâmetros morfológicos

Mensalmente foram determinadas a altura e número de folhas das plantas e a presença de necroses foliares. No final do experimento foi determinada a área foliar e a massa seca total foi obtido pela secagem de raízes e parte aérea, em estufa de ventilação forçada a 80 °C até peso constante.

A percentagem de folhas com necrose foi calculada em relação ao número total de folhas da planta. A fitotoxicidade foliar foi determinada atribuindo-se notas à percentagem da área clorose foliar, obedecendo a seguinte escala: 0- sem necrose; 1- com necrose em até 25% da área foliar; 2- com necrose de 26 a 50% da área foliar; 3 - de 51 a 75% da área foliar com necrose; e 4- com necrose de 76 a 100% da área foliar.

2.4 Parâmetros fisiológicos

Mensalmente foi determinada a temperatura da massa foliar (t_{foliar} (°C)) e a diferença de temperatura ambiente e a temperatura da folha (Δt (°C) = $t_{\text{ar}} - t_{\text{foliar}}$) mediante um termômetro infravermelho (AG-2 Infrared Termometer).

Foram determinadas a fluorescência (F_v/F_m), condutância estomática (gs), a transpiração (E) e a assimilação líquida de CO_2 (A), em folhas adultas a partir do terceiro nó foram medidas com o auxílio de um analisador de gases no infravermelho

(IRGA, modelo LCA-2, da Analytical Development Co. Ltda), com câmaras PLC-B (ADC BioScientific Limited, HertsEngland), entre 7:00 e 11:00 horas da manhã.

Os teores de clorofila a, b e carotenóides foram determinados espectrofotometricamente mediante leitura da absorbância a 470, 663,2 e 646,8 nm segundo Arnou (1949).

2.5 Parâmetros Anatômicos

Para detecção histoquímica do ferro, amostras foliares a partir do terceiro nó, das espécies *S. terebinthifolius* e *M. Coriaceae* expostas às deposições gasosas e particuladas, foram fixadas em glutaraldeído e paraformaldeído em tampão fosfato pH 7,0 (KARNONSKY, 1965). Os cortes obtidos foram submetidos a uma solução constituída de ferrocianeto de potássio 4% e ácido clorídrico 4% (BANCROFT et al., 1996). Após 24 horas de reação, os cortes foram lavados e montados em gelatina glicerizada e fotografados em fotomicroscópio (OLYMPUS AX70) equipado com sistema U-photo. A reação foi considerada positiva nas regiões dos cortes que apresentaram coloração azul, característica do azul de Prússia. Um controle negativo em que os cortes foram montados sem o reagente específico foi desenvolvido em paralelo.

2.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, compondo uma fatorial 2x5x6 (2 espécies, 5 estações, 6 réplicas), com cinco repetições para cada espécie.

2.7 Análise estatística

Os dados foram transformados, quando *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae* não apresentaram homogeneidade de variância e distribuição normal, e foram submetidos à análise de variância. Aplicou-se ANOVA e para verificar a normalidade dos dados, utilizou-se teste de variância tipo III de Kolmogorov Smirnov e a posteriori o teste de Levene ou New Keuls, testando a homogeneidade de variância. As médias foram submetidas ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação.

3 – Resultados

3.1 Caracterização das espécies

Schinus terebinthifolius Raddi é uma espécie pioneira de porte arbóreo podendo chegar a 5 metros de altura, pertencente à família Anacardiaceae, com metabolismo C_3 e, pertencente à formação palmae, sofrendo ação direta dos ventos e em solos mais salinos e de menos fertilidade. Possuem folhas alternas penta a heptafolioladas, flores alvas em ramos geralmente florescendo no mês de abril e, frutificando de maio em diante. Frutos pequenos e redondos de cor vermelha intenso quando maduro. É popularmente conhecida como aroeira-vermelha, aroeira-pimenteira, pimenta brasileira e aroeira da praia. Esta variação nos nomes se dá, principalmente, pelo fato de seus frutos possuírem a aparência de uma pequena pimenta de coloração rosa-avermelhada, por isso, também chamados de pimenta-rosa, “pink-pepper”, “poivre rose”, entre outros nomes” (LENZI & ORTH, 2004). A aroeira-vermelha possui inúmeras potencialidades medicinais e fitoquímicas - febrífuga, homeostática e antitussígena (OLIVEIRA & GROTTA 1965). Alguns de seus metabólicos secundários têm auxiliado no tratamento e cura de diversos males (GUERRA *et al.*, 2000; AMORIM & SANTOS, 2003). Porém, atualmente, a espécie vem se destacando cada vez mais pelo consumo de seus frutos (pimenta-rosa), cuja demanda tem aumentado muito, tanto no mercado nacional como no internacional, que os utiliza como condimento alimentar. Muito utilizada também em paisagismo e arborização de orlas de praia, seus frutos são muito apreciados pela avifauna. Esta espécie possui uma alta plasticidade ecológica que permitindo-lhe ocupar diversos tipos de ambientes e formações vegetais (FLEIG & KLEIN, 1989).

Mimusopsis coriacea (D.C) Miq. (in Mart.) (Abriçó) é uma espécie de porte arbóreo podendo chegar a 5 metros de altura, pertencente à família Sapotaceae, com metabolismo C_3 e, muito utilizada como planta ornamental em projetos paisagísticos, além de possuir propriedades medicinais aplicadas em essências florais, cujas propriedades ativam o cérebro e fazem conexão com os canais energéticos, é um tônico floral utilizado na medicina caseira para combater febre, lactífera, odontálgica, tanífera é usada também para combater “sapinho” na boca de crianças.

3.2 Qualidade do Ar

Segundo a resolução do CONAMA n.º03/90 entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de energia ou matéria com intensidade, quantidades e concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que possam tornar o ar nocivo à saúde, inconveniente ao bem estar público e danoso a materiais, flora e fauna. Define-se, portanto como padrão secundário de qualidade do ar poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso ou danos à fauna e flora e ao ambiente em geral.

Os resultados demonstram um gradiente na distribuição da poeira sedimentável ao longo do transecto, observando-se uma diminuição significativa na estação 02 localizada a 500m até 1700m (Figura 05 –A).

Durante os meses abril a dezembro de 2004, particularmente na época de exposição das plantas, os resultados de partículas totais em suspensão monitorados semanalmente indicam uma contribuição deste ultrapassando o padrão secundário (Gráfico 2-C). Os principais poluentes atmosféricos segundo Mudd e Kozlowski, (1975), são óxidos de enxofre e nitrogênio, fluoretos, ozônio e nitratos de peroxiacila, que podem ser transportados até cerca de mil quilômetros do local de emissão.

Para as emissões de SO₂ observou-se através do monitoramento semanal para o período em questão uma grande variação dos valores encontrados (9,44 a 20,63 ug.m⁻³) e, a média do período foi 15,23 ug.m⁻³ (Figura 05 – B)

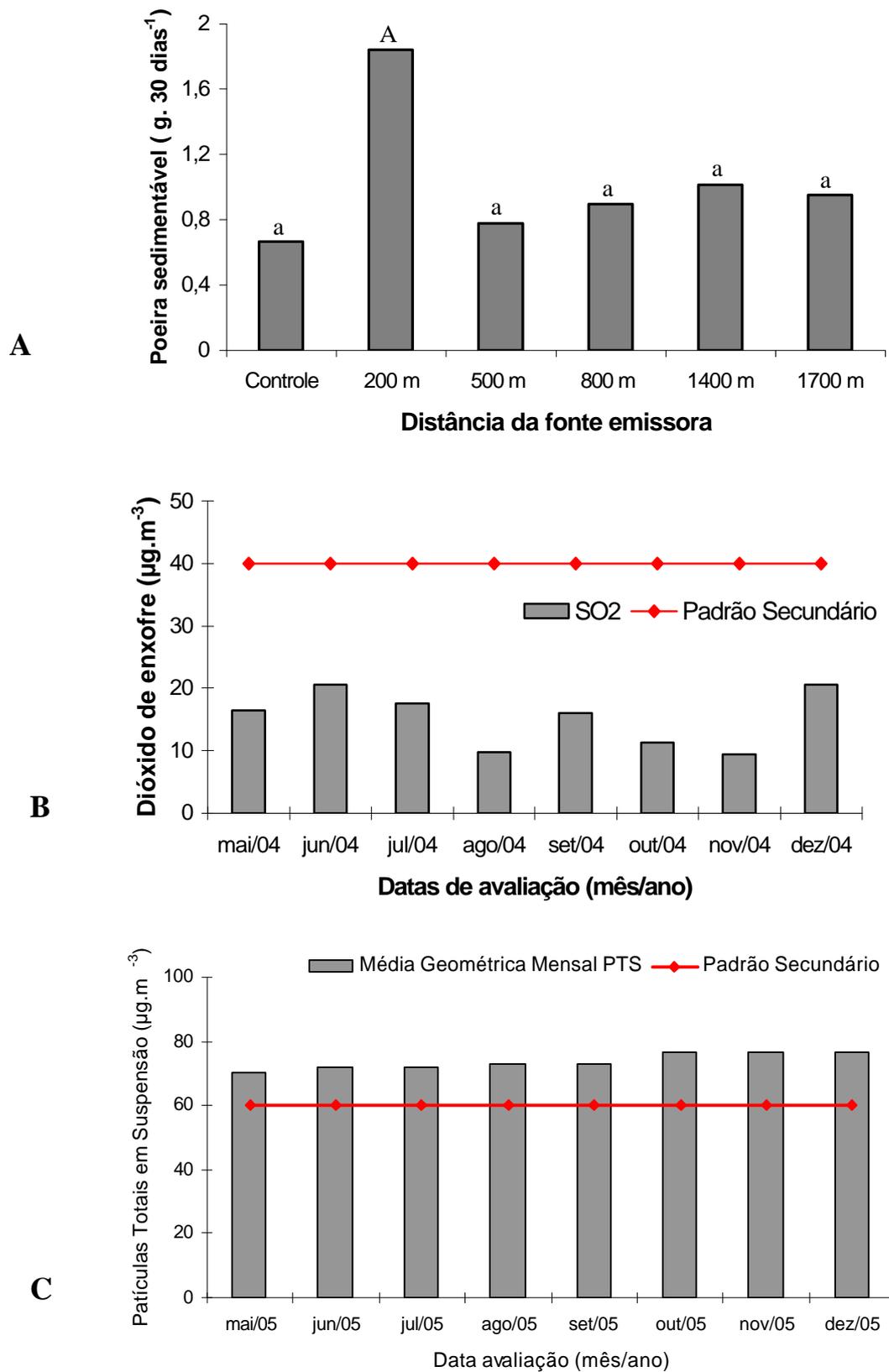


Figura 05 – Teor de Poeira Sedimentável (A), Concentração de SO₂ (B) e Partículas Totais em Suspensão (C) na qualidade do ar. Padrão secundário segundo a resolução CONAMA nº 03/1990.

3.3 Ação espacial da deposição de ferro particulado e dióxido de enxofre.

A poeira sedimentável (PS) mostrou os maiores valores a 200 metros, isto é a estação mais próxima da usina, e uma redução na estação localizada a 500 metros e voltando a aumentar a 800 e 1400 metros (Figura 06 – A). No período de abril a novembro de 2004, os maiores valores de poeira sedimentável foram obtidos no mês de agosto, seguidos de junho e julho, ou seja, no período frio (inverno).

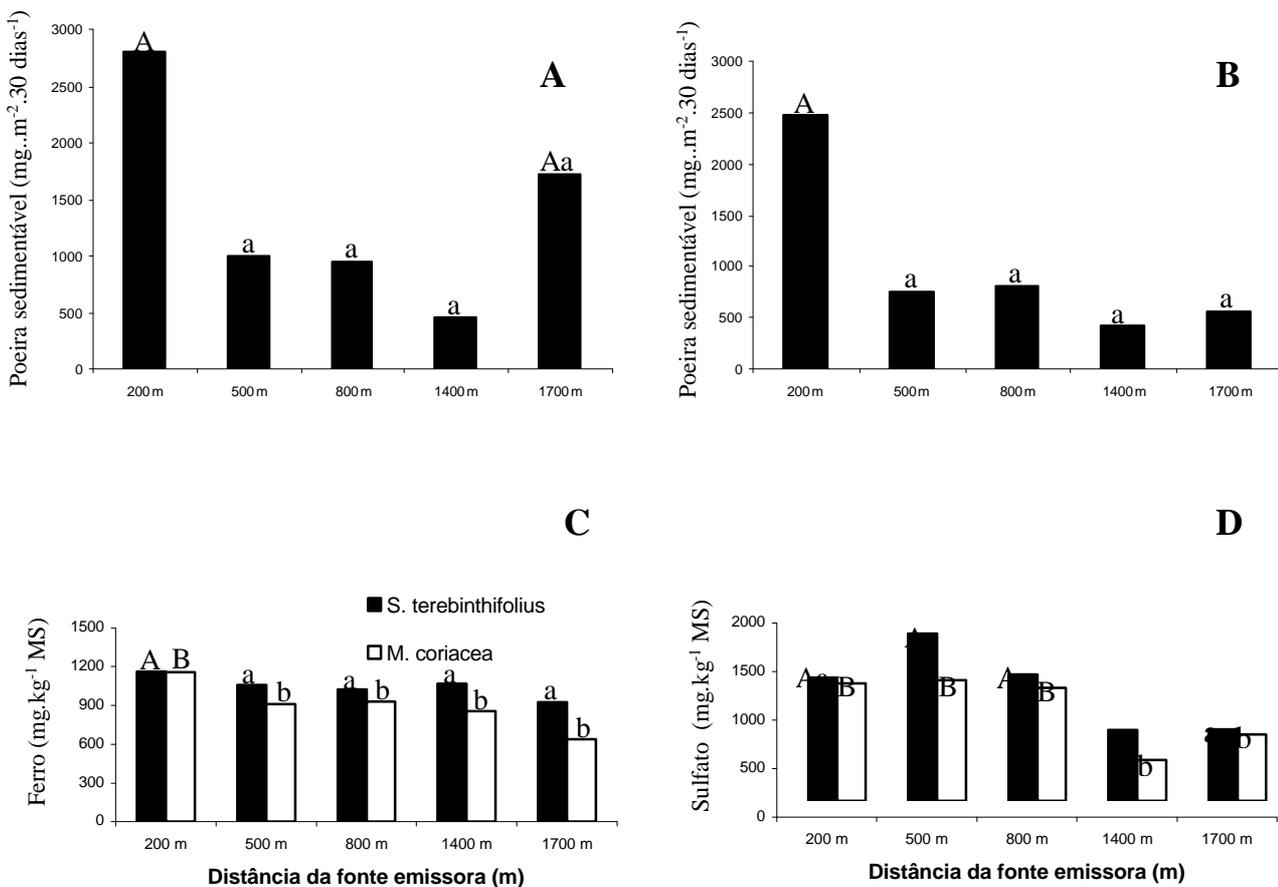


Figura 06 – A – Deposição de Poeira Sedimentável em folhas de *S. terebinthifolius*. B – Deposição de Poeira Sedimentável em folhas de *M. coriacea*. C – Teor de Ferro Total absorvido em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* medidos após oito meses após a exposição às emissões da usina. D – Teor de sulfato total absorvido em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* medidos após oito meses após a exposição às emissões da usina. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

O acúmulo de ferro absorvido para as duas espécies foi mais significativo a 200 e 500 metros, comparando os valores com as diferentes distâncias onde as plantas ficaram expostas (Figura 07). Os resultados não apresentaram diferença

significativa para *Mimusopsis coriacea* (abricó) com relação à absorção de ferro nas diferentes partes da planta comparando-se as cinco diferentes distâncias de exposição das plantas a fonte emissora. Na estação mais próxima da fonte emissora, a 200 metros, o acúmulo de ferro foi maior nas raízes, caule e nas folhas onde ocorreram maiores valores a 200 e 500 metros de distância respectivamente nas estações mais próximas da área industrial. No entanto, com relação ao órgão que mais acumulou ferro para esta espécie, não foi observado diferença entre os teores em raiz, caule e folha ($F_{2,57} = 2,24$ $P < 0,11$) (Figura 07).

Em *S. terebinthifolius* o comportamento foi similar (Raiz $t = 13,93$ GI 24 $P < 0,01$, Folha $t = 6,92$ GI 10 $P < 0,01$ e Caule $t = 13,01$ GI 24 $P < 0,01$), porém o acúmulo de ferro nas diferentes partes da planta pode ser observado de 200 até 1400 metros, reduzindo na última estação a 1700 metros da fonte emissora. No entanto, avaliando-se apenas o acúmulo de ferro nas diferentes partes foi observada diferença significativa deste com relação aos seus teores nas folhas, raiz e caule (*S. terebinthifolius* - $F_{2,77} = 11,45$ $P < 0,01$) (Figura 07).

M. coriacea demonstrou que conteúdo de sulfato em folha, caule e raiz foram diferentes comparando-se as distâncias de 200, 500, 800, 1400 e 1700 metros (Raiz $t = 6,06$ GI 25 $P < 0,01$, Folha $t = 6,80$ GI 10 $P < 0,01$ e Caule $t = 13,94$ GI 24 $P < 0,01$), principalmente nas estações 200, 500 e 800 metros que apresentaram um maior acúmulo, reduzindo nas estações seguintes mais distantes (Figura 06 –D). *M. coriacea* armazenou mais sulfato nas raízes comparando-se com os valores obtidos para folha e caule que não apresentaram diferenças ($F_{2,57} = 3,89$ $P < 0,03$). *S. terebinthifolius*, assim como a outra espécie avaliada, também apresentou diferença com relação ao acúmulo de sulfato nas diferentes distancias, onde em geral o acúmulo foi maior nas estações mais próximas à fonte emissora (200, 500 e 800 metros). Os resultados de absorção de sulfato apresentam uma redução gradativa com relação à distância (Figura 06 – D). Para esta espécie não foi significativamente diferentes o acúmulo de sulfato nas diferentes partes da planta - folha, caule e raiz ($F_{2,57} = 2,66$ $P = 0,08$).

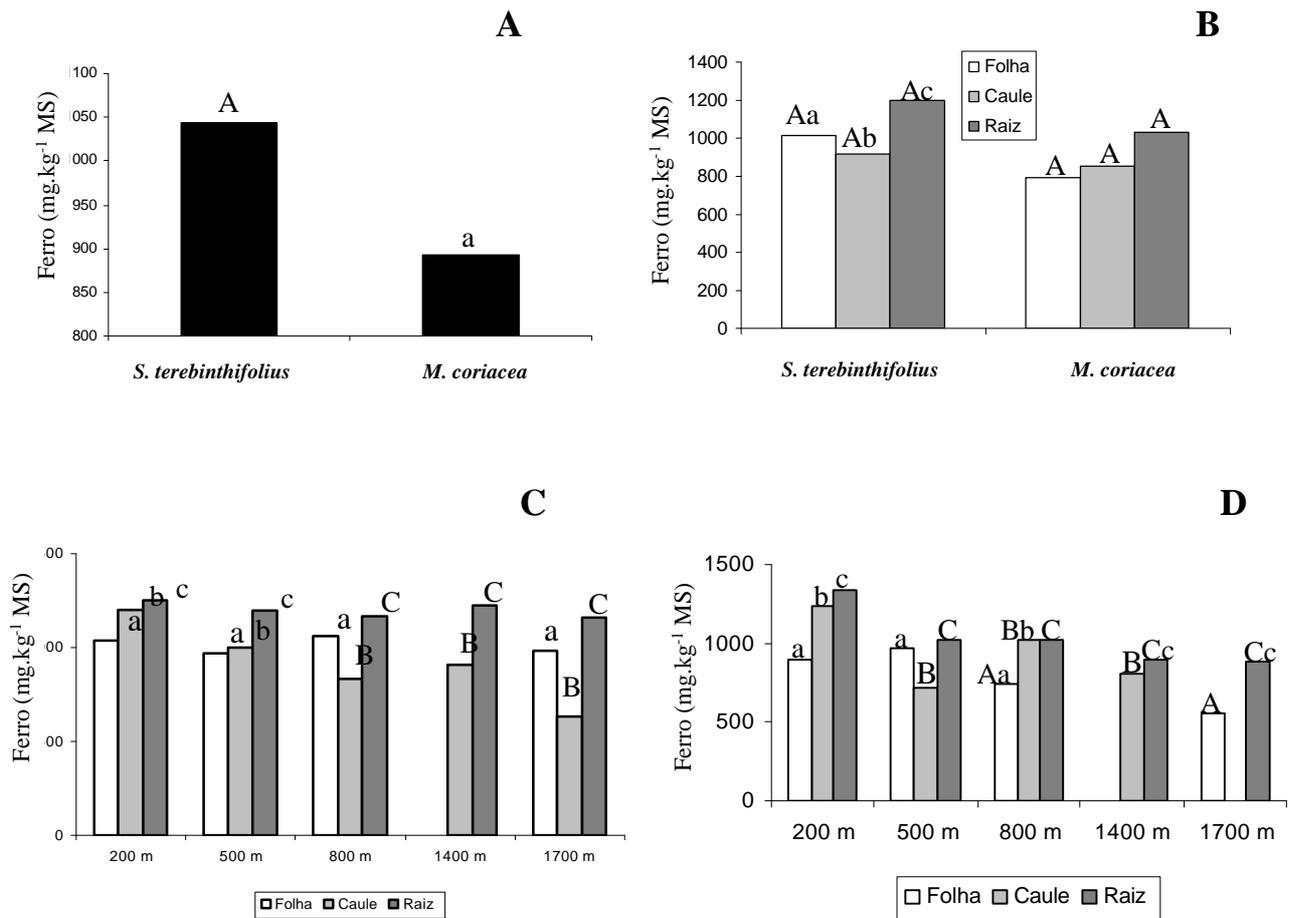


Figura 07 – Efeito da distância do emissor sobre o ferro total folha (A), teor de ferro em folha, caule e raiz (B), ferro total absorvido em folha, caule e raiz (C) de *S. terebinthifolius* em diferentes distâncias da fonte emissora, ferro total absorvido em folha, caule e raiz (D) de *M. coriacea* em diferentes distancias da fonte emissora. Letras A comparam medias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam medias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Na área foliar (Af) de *Mimusopsis coriacea* (abricó), observou-se um decréscimo gradativo com relação à distância da fonte emissora, recuperando-se discretamente na estação mais distante da usina a 1700 metros. Observou-se que o menor valor de Af obtido (137,2 cm²) para esta espécie foi a 1400 metros. Os valores médios de Af variaram de 394,21 cm² para *S. terebinthifolius* e 272,86 cm² para *M. coriacea* (Figura 08).

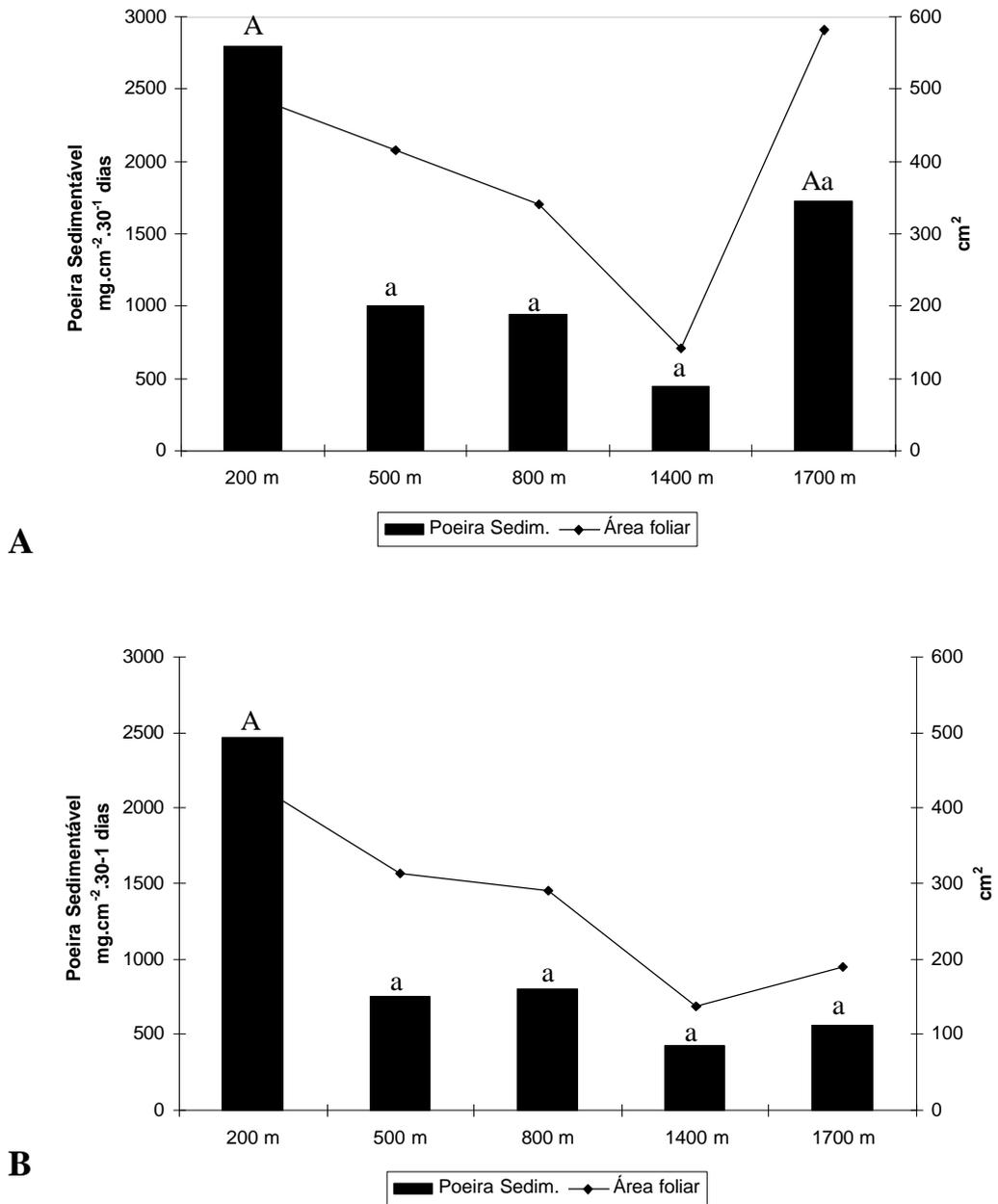


Figura 08 – Deposição de Poeira Sedimentável total em folhas de *S. terebinthifolius* e correlação com a área foliar (A), Deposição de Poeira Sedimentável total em folhas de *M. coriacea* (B) e correlação com a área foliar. Letras A comparam médias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey

A produção de matéria seca total em *M. coriaceae* das duas espécies diminuiu gradativamente, só que não é significativo, em função da distância de exposição das plantas, sendo que, dentre os maiores valores médios de produção de matéria seca para a espécie *S. terebinthifolius* destacam-se as estações 1 e 2 localizadas respectivamente a 200m e 500m.

Em *M. coriaceae* que existe uma tendência de decréscimo dos valores até 800m de distância e, foi observado na estação a 1700m de distancia o maior valor médio de matéria seca (Aroeira $t = 9,56$ GI 19 $P < 0,01$ e Abriçó $t = 17,11$ GI 19 $P < 0,01$). Comparando-se as duas espécies com relação à taxa matéria seca não houve diferença significativa ($F 1,38 = 0,07$ $P = 0,78$) (Figura 08) com relação ao incremento desta nas distancias testadas.

O aumento do número de folhas com relação aos meses de exposição foi observado somente para *S. terebinthifolius*. Em *M. coriaceae* não houve variação ao longo do tempo de exposição das plantas a fonte emissora. Com relação as comparações entre estações, os dados apresentaram aumento de folhas nas distancias 1400 e 1700 e redução a 800 m para *S. terebinthifolius*, não variando significativamente para a outra espécie estudada (Figura 08 – C).

As espécies *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae* não apresentaram variação em altura, com relação às distâncias da fonte emissora. Da mesma forma a altura não variou estatisticamente em relação às distâncias da fonte emissora nas duas espécies (Figura 08 – B).. No entanto, apenas para *S. terebinthifolius* observa-se um acréscimo na altura das plantas partir de setembro/2004.

Outro sintoma visual observado nas plantas exposta à deposição de ferro e dióxido de enxofre foi à necrose foliar (Figura 09). Nas duas espécies, o número de folhas necrosadas foi maior nas últimas coletas de dados (agosto, setembro e outubro/2004). O número de folhas necrosadas não se modificou em relação às distâncias da fonte emissora, exceto a 800 m em *S. terebinthifolius* com um significativo aumento e a 500 m em *M. coriaceae*, onde houve uma redução.

Em *S. terebinthifolius* houve interação entre as datas de avaliação e as estações analisadas, sendo que as plantas localizadas a 1400 m da fonte emissora apresentaram, a partir de outubro/2004, necroses significativas. Comparando-se as espécies, constatamos que *M. coriaceae* é mais afetada pelo sintoma de necrose do que *S. terebinthifolius*, chegando o valor médio máximo encontrado para estas espécies durante o período de exposição de 19,1% (1400m) e 7% (800m) de folhas necróticas respectivamente (Figura 09 -A).

Foram observados níveis de necrose mais graves no mês de junho/2004 para as duas espécies expostas. A estação 2, foi a menos afetada (500 m) e, as estações 1, 3 e 4 apresentaram maiores índices de fitotoxicidade de necrose. Analisando a fitotoxicidade com relação às datas de avaliação, nota-se que junho/2004 apresentou os maiores valores médios de necroses (Figura 09 - B).

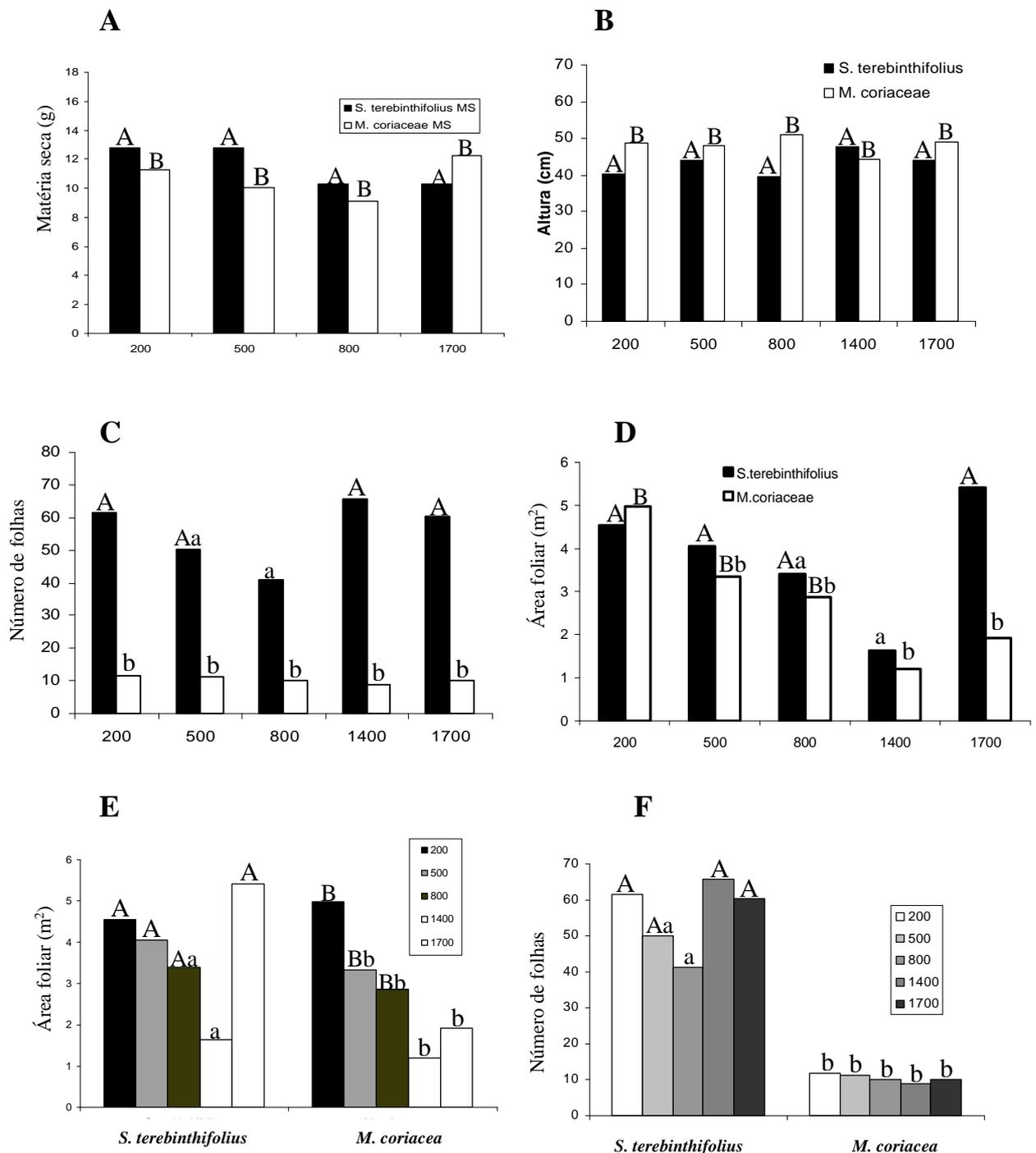


Figura 08 – Efeito da distância da fonte emissora sobre plantas expostas a emissões da usina após oito meses de exposição sobre Matéria Seca Total (A), Altura (cm) (B), Número de Folhas (C), Área Foliar nas cinco distâncias (D) área foliar de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* (E) e Número de Folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* (F). Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

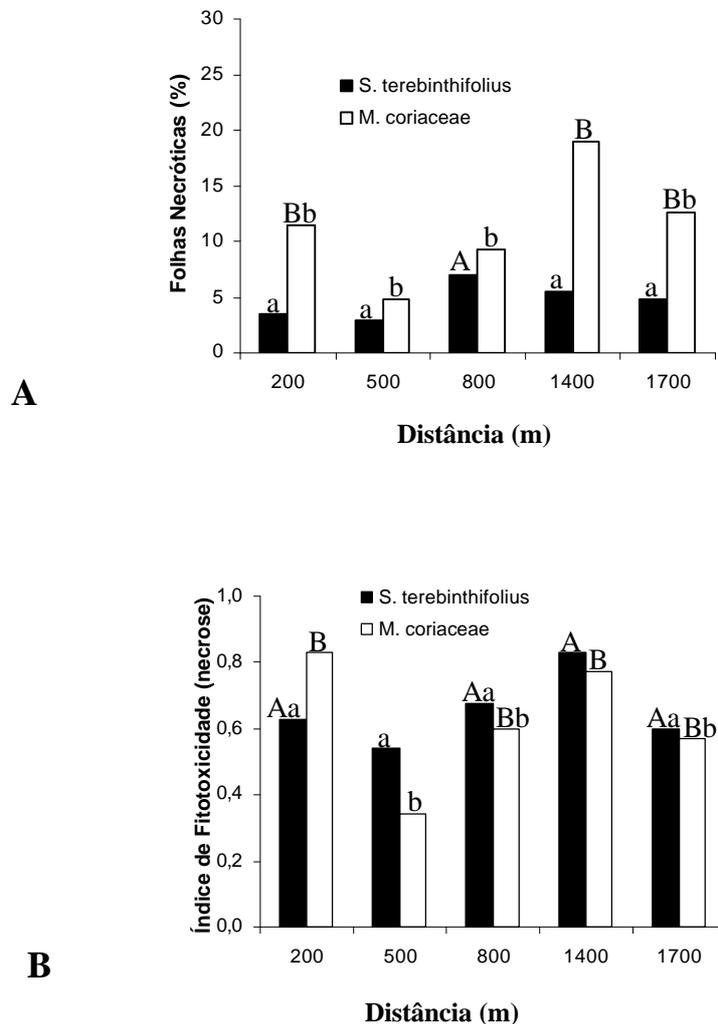


Figura 09- Relação entre o Índice de fitotoxicidade e a distância da fonte emissora apresentadas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* após exposição de oito meses. Percentual de folhas necrosadas (A). Índice e Fitotoxicidade (B). Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Ocorreu um aumento significativo da temperatura da massa foliar nas plantas expostas a 200 m da fonte emissora das duas espécies testes. O período que mais contribuiu com o aumento da temperatura foliar (30°) foi de setembro a dezembro/2004.

Os dados de diferença de temperatura do ar corroboram com os de temperatura da massa foliar, detectando um aumento desta a 200 m da fonte emissora para todas espécies testadas neste estudo. Em *S. terebinthifolius* o t reduz a partir de 500 m e aumenta em *M. coriacea* nas estações 1, 4 e 5.

Os maiores valores de Δt ocorrem nos meses de setembro a novembro/2004 deste experimento.

As condutâncias estomáticas das duas espécies apresentaram resultados com tendências semelhantes, onde o maior valor médio de condutância foi observado a 800 m de distância da fonte emissora e, os demais resultados decrescem nas estações localizadas mais próximas a usina e mais afastadas, respectivamente, 200, 500, 1400 e 1700 (Aroeira $t = 12,55$ GI 44 $P < 0,01$ e Abricó $t = 14,18$ GI 56 $P < 0,01$) (Figura 10 - E e F).

Nas duas espécies estudadas verificou-se um acréscimo da transpiração com relação à fonte emissora, mais visível para *M. coriacea* e, o mesmo comportamento, pode ser observado para *S. terebinthifolius* até 800m. Para esta espécie após 800m os valores voltam a decrescer nas estações a 1400 e 1700m (Aroeira $t = 8,52$ GI 44 $P < 0,01$ e Abricó $t = 8,38$ GI 56 $P < 0,01$) (Figura 10 -C e D).

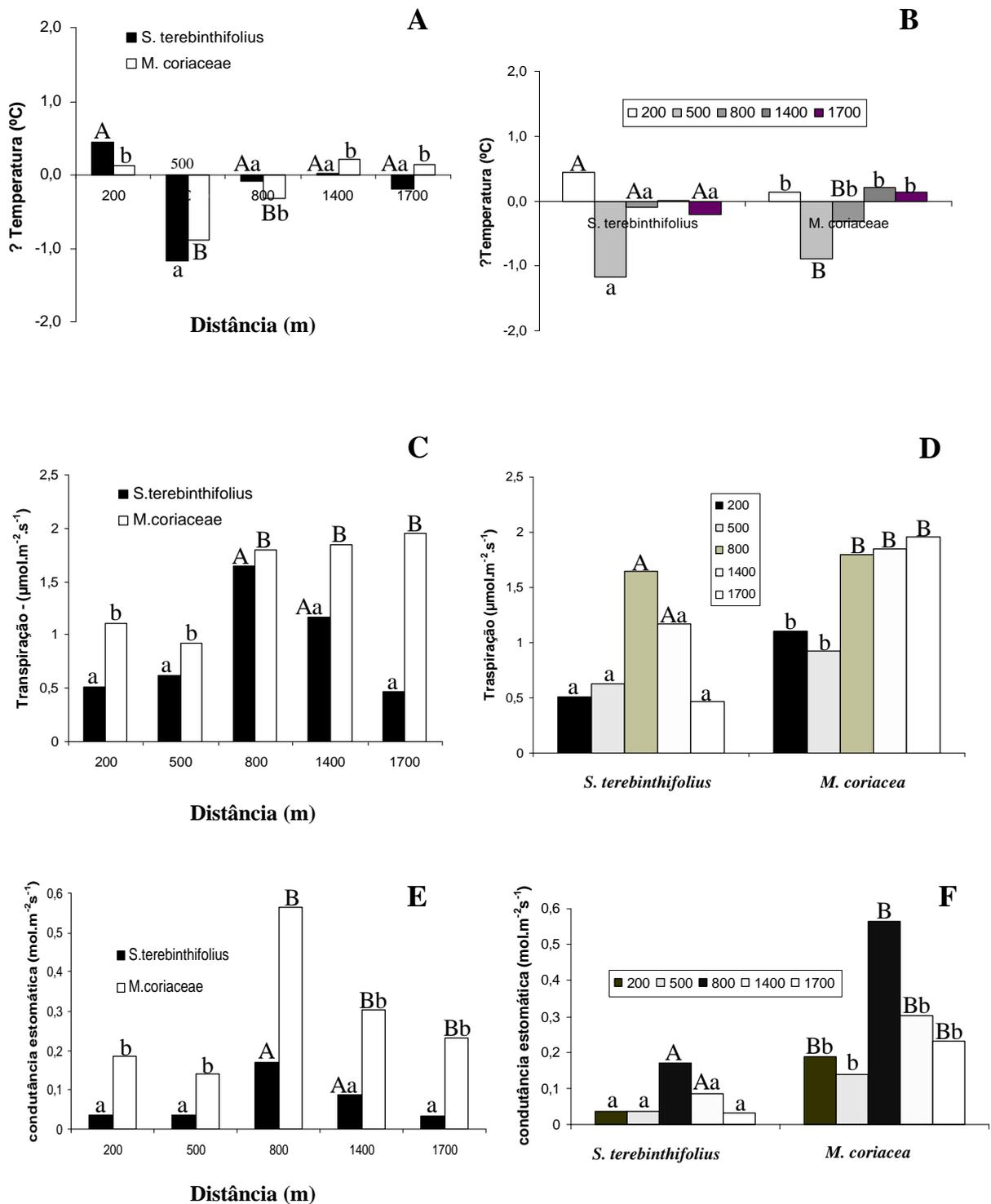


Figura 10 – Relações entre a distância da fonte emissora e a diferença da temperatura do ar-folha (Δt) (A e B), transpiração (E)(C e D) e condutância estomática (g_s) (E e F), em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Com relação à fluorescência, as duas espécies se comportaram de forma diferenciada. Na espécie *S. terebinthifolius* os valores que demonstram alterações significativas foram observados na distância 800 metros, no entanto nas estações mais próximas como 200, 500 e também a 1400 e 1700 metros, os valores médios foram acima de 0,8. Para *M. coriacea* um possível dano foi detectado somente a 1400 metros (Figura 11 – A). No entanto foi constatado que na estação mais distante das emissões da usina (1700m) não foi detectado alterações neste parâmetro para as duas espécies estudadas, demonstrando até para *M. coriacea* uma recuperação dos valores nesta distância (Aroeira $t = 7,61$ GI 24 $P < 0,01$ e Abricó $t = 7,66$ GI 24 $P < 0,01$).

A taxa de fotossíntese líquida de CO_2 , em *M. coriacea*, modificou-se em relação à distância da fonte emissora ($t = 5,32$ GI 56 $P < 0,01$). Observou-se maiores valores a 1700 m, seguida das estações a 200 m e 800 m de distância, enquanto em *S. terebinthifolius*, observou-se maiores valores a 800 m da fonte emissora, no entanto estes valores estatisticamente não foram diferentes com relação às demais distâncias avaliadas ($t = .0,96$ GI 44 $P = 0,34$) (Figura 11 – B).

Os resultados de clorofila a em *M. coriacea* apresentaram uma ligeira redução nas plantas expostas na estação a 800 metros e aumento a 500 metros ($t = 11,79$ GI 26 $P < 0,01$). Os valores variaram entre 13,18 a 9,38 mg/m^2 (máximo e mínimo), com valor médio de 10,9. A clorofila b e os carotenóides acompanharam a mesma tendência da clorofila a (respectivamente $t = 14,89$ GI 26 $P < 0,01$ e $t = 16,21$ GI 26 $P < 0,01$). Os valores médios para clorofila b e carotenóides, foram respectivamente, 19,66 variando de 16,37 a 22,99 mg/m^2 que representam os valores mínimo e máximo e, 28,05 cujos valores máximos e mínimos são 24,1 e 33,85 mg/m^2 respectivamente (Figura 11 - D).

S. terebinthifolius apresentou uma tendência de redução dos valores de clorofila a da estação mais próxima a usina até a 800 metros, estes valores são maiores na estação a 1700 metros ($t = 17,50$ GI 17 $P < 0,01$). A tendência dos valores de clorofila b e carotenóides para esta espécie foi semelhante, onde os valores médios são respectivamente 26,28 e 38,73 mg/m^2 .

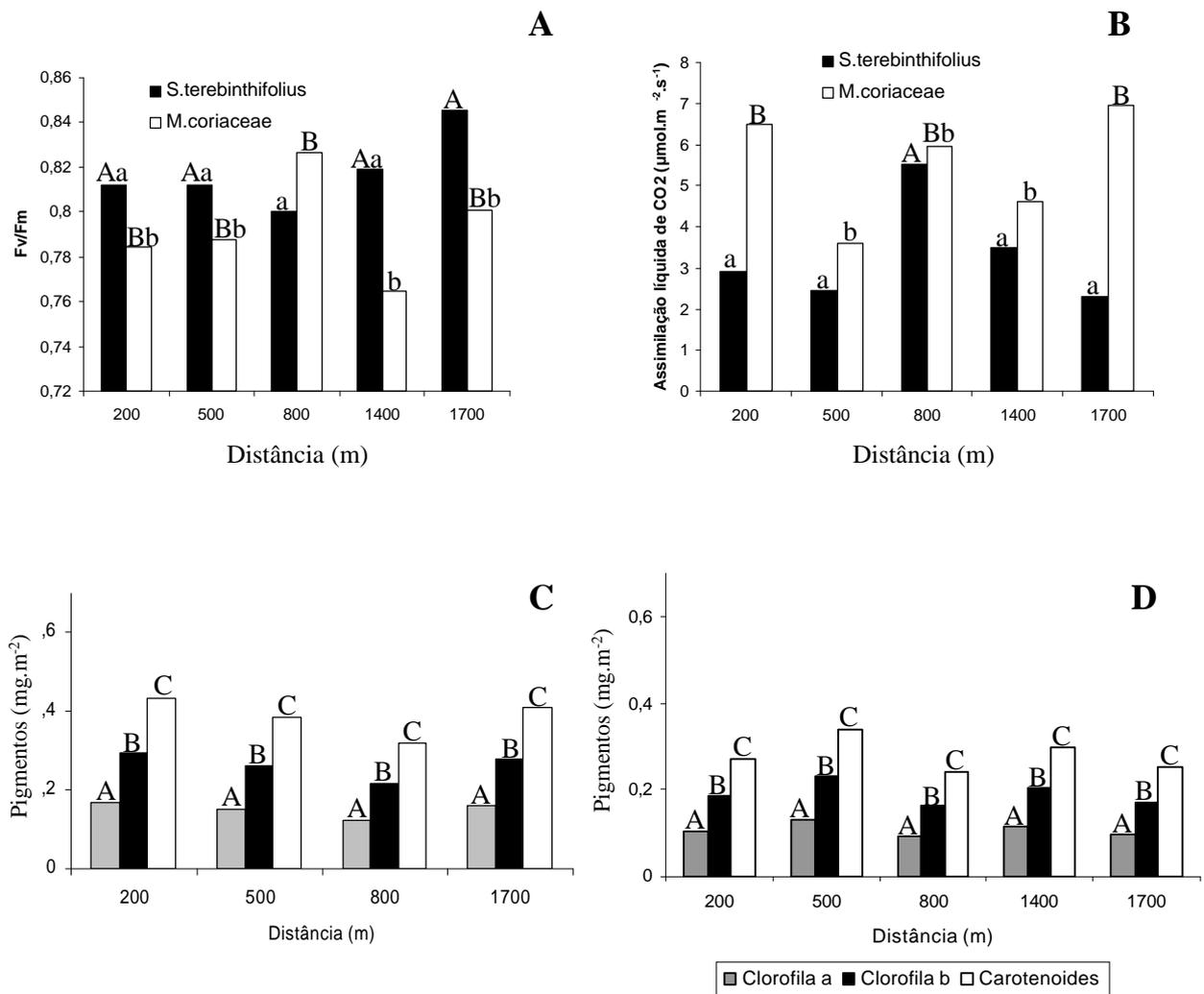


Figura 11 – Relações à fonte emissora em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* expostas à deposição de ferro particulado e dióxido de enxofre por oito meses. (A) – Fluorescência (**Fv/Fm**). (B) – Assimilação líquida de CO₂ (**A**). (C) – Teor de Clorofila a, b e carotenóides em *S. terebinthifolius*. (D) - Teor de Clorofila a, b e carotenóides em *M. coriacea*. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Uma das características da família Anacardiaceae é a presença de canais/cavidades de goma-resina, geralmente associados ao floema (METCALFE & CHALK 1950). Representantes da família Anacardiaceae apresentam tricomas multicelulares ou unisseriados em algumas espécies. A estrutura foliar é bifacial (tecido paliçádico), o estômato é confinado, anfiestomático, apresenta diferentes pêlos, muito possivelmente com função glandular denominado pêlos glandulares. Possuem canal secretor de látex.

Na figura 12, em *S. terebinthifolius* pode-se observar na nervura mediana a epiderme unisseriada, presença de cutícula espessa, abaixo da epiderme, colênquima angular, parênquima, feixes vasculares (F/X/F) e canais resiníferos.

Na estação localizada a 200 metros da fonte emissora, as plantas apresentaram resultados positivos no teste histoquímico para absorção de ferro. Houve uma deposição de ferro externa, podendo ser observada através da presença de ferro nos estômatos e absorção e translocação deste ferro internamente, podendo ser constatado a presença do ferro na epiderme, hipoderme, colênquima e no xilema (Figura 12).

A 500 metros a deposição foi superficial na folha, reação positiva para o ferro foi detectada mais na parte externa da cutícula e, na parte externa da epiderme, aderida ao tricoma unisseriado. Não foi observada reação positiva do ferro no colênquima ou xilema, demonstrando uma deposição superficial de ferro nesta distância, onde o impacto é físico. Na estação a 800 metros foi detectado o ferro sendo translocado dentro do xilema, presente também no colênquima, além da epiderme e da cutícula. No entanto a reação ainda é menos intensa do que na distância a 200 metros (Figura 12).

Na estação 4 a 1400 metros da fonte emissora as plantas também reagiram positivamente ao teste histoquímico de ferro, porém nesta distância não foi identificado ferro no colênquima, mas presente em algumas células do xilema translocadas e deposição superficial atingindo a epiderme superior e no tricoma glandular, mais intensa do que na estação anterior (800 metros). As plantas menos afetadas foram às expostas a distância de 1700 metros da fonte emissora, onde ocorreu apenas uma pequena deposição superficial, no entanto também foi identificado o ferro sendo translocado pelo xilema.

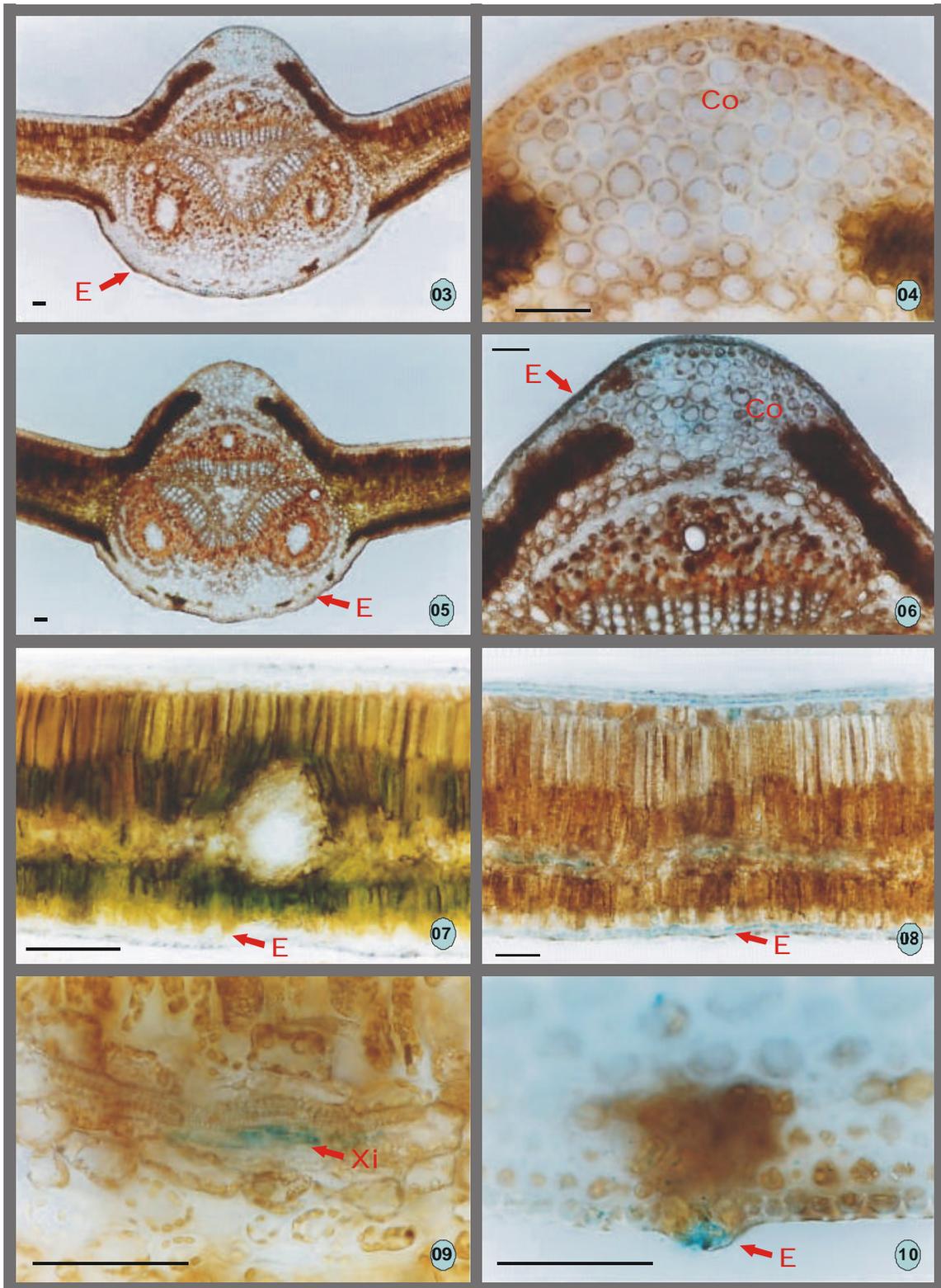


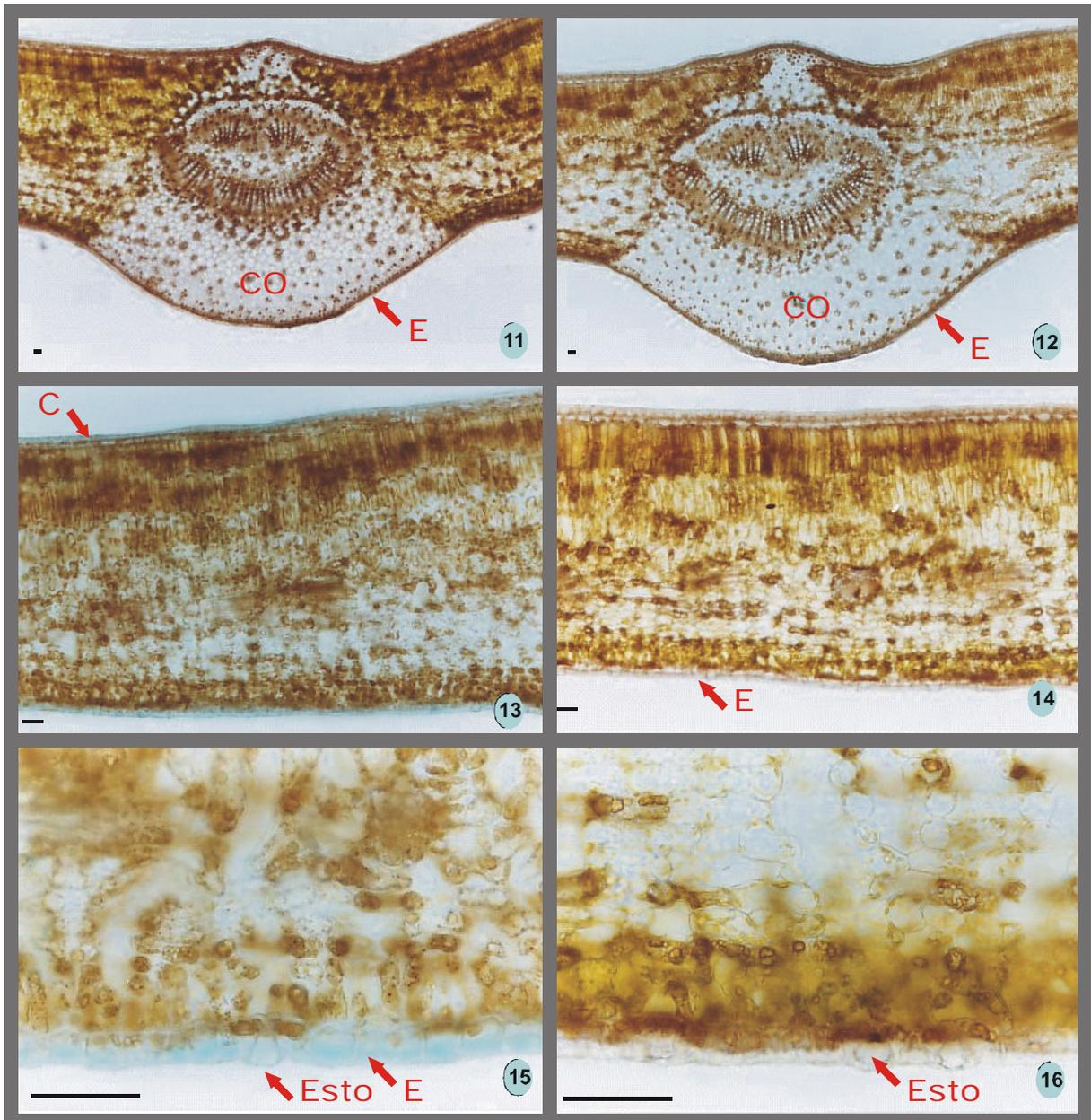
Figura 12 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas a 200 metros da área exposta às emissões da usina e mais afetada com e sem corante azul de Prússia. Figuras 5, 6, 8, 9 e 10 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *S. terebinthifolius* expostas durante oito meses a 200 metros da fonte emissora, com azul de Prússia, observados ao microscópio fotônico. Presença de C – Cutícula, E – epiderme, Co – colênquima, Xi – xilema, E – estômatos. Barras = 50 µm.

M. coriacea pertence à família das Sapotaceae, que se caracteriza por apresentar hipoderme e fibras esclerenquimatosas no mesofilo, são laticíferas, possuindo sacos laticíferos. Existem dois aspectos taxonômicos, reconhecidos nos membros desta família: em condições estéreis e em desenvolvimento. No primeiro estágio a presença de pelos unicelulares e no segundo estágio presença de sacos laticíferos. A paliçada consiste de uma ou mais camadas, ocasionalmente o número de camadas determina o grupo de espécies com largos espaços intercelulares. A cutícula ocorre preferencialmente na superfície abaxial da folha e demonstram irregularidades como grânulos, estrias e papilas.

O *M. coriacea* apresentou uma reação pequena a nível cuticular, a espécie apresenta estômato em depressão na face abaxial, cutícula espessa nas duas faces, sem presença de tricomas, rota alternativa a entrada de poluentes. Possui hipoderme e três camadas de paliçadas e a disposição das suas folhas em 45° permite uma melhor lixiviação das partículas aderidas de poeira sedimentável na planta. Plantas com estas características (estômatos de depressão) são adaptadas a estresse hídrico – xeromorfos são resistentes à perda de água (Figura 13).

Com relação à presença de ferro na estrutura das plantas expostas em diferentes e gradativas distâncias da fonte emissora de poeira de ferro pode-se constatar que a 200 e 500 metros as plantas de *M. coriacea* apresentaram pouca reação positiva, apenas na cutícula e epiderme, bastante superficial. As plantas da estação a 800 metros foram as mais afetadas. Os resultados verificaram a presença de ferro no colênquima, parênquima lacunoso, epiderme, cutícula adaxial e na depressão dos estômatos.

O efeito da deposição do ferro particulado a 1400 metros também foi observado através da presença de ferro na epiderme, colênquima, xilema e no parênquima clorofiliano (paliçadico e lacunoso). A minimização do efeito do ferro nas plantas pode ser notada na estação a 1700 metros de distância onde não ocorre reação positiva internamente, apenas externamente na cutícula. Esta espécie apresenta-se anatomicamente mais resistente ao tipo de poluente analisado, inclusive devido suas características morfológicas como a orientação e disposição das suas folhas (Figuras 13).



Figuras 13 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas a 200 metros da área exposta às emissões da usina e, mais afetada com e sem corante azul de Prússia. Figuras 11, 13 e 15 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *M. coriacea* expostas durante oito meses a 200 metros da fonte emissora, com azul de Prússia, observados ao microscópio fotônico. Presença de C – Cutícula, E – epiderme, NM –nervura mediana. Barras = 50 μ m.

3.4 - Ação temporal da deposição do ferro particulado e dióxido de enxofre.

A poeira sedimentável apresentou variações ao longo dos meses nas áreas expostas e não exposta à poeira emitida pela usina. Os maiores valores foram em geral encontrados sempre na área exposta nos meses junho e julho de 2004.

A quantidade de ferro depositado na área foliar das plantas expostas e não expostas diferiram para as duas espécies, sendo significativo o aumento da deposição de poeira nas folhas nas plantas que estavam expostas na área da industrial (Aroeira $t=3,45$ GI 11 $P<0,01$, Abricó $t=8,82$ GI 11 $P<0,01$). Houve um acréscimo na deposição de poeira sedimentável nas folhas a partir de setembro de 2004 para *S. terebinthifolius* e em *M. coriacea*, ocorreu uma redução da deposição no quarto mês de exposição (agosto/2004), havendo um acréscimo nos meses subsequentes (setembro a novembro de 2004) (Gráfico 10 - A e B).

A absorção de ferro em plantas de *S. terebinthifolius* com relação à área exposta e não exposta apresentou diferenças significativas para folha, caule e raiz ($F_{1,70}=74,52$ $P<0,01$, $F_{1,70}=18,68$ $P<0,01$ e, $F_{1,70}=5,77$ $P<0,01$), acumulando mais ferro na área exposta as emissões atmosféricas da área do pátio industrial de armazenamento e manuseio de minério de ferro. Com relação ao período de exposição também foi constatado diferenças significativas (Folha exposta $t=25,57$ GI 35 $P<0,01$ e Folha não exposta $t=16,32$ GI 35 $P<0,01$, Caule exposto $t=19,86$ GI 35 $P<0,01$ e Caule não exposto $t=9,58$ GI 35 $P<0,01$, Raiz exposta $t=81,80$ GI 35 $P<0,01$ e Raiz não exposta $t=38,75$ GI 35 $P<0,01$). Os resultados de monitoramento mensal constatarem uma elevação nos teores de ferro absorvido após dois meses (junho/2004) de exposição das plantas, mantendo sempre valores mais elevados no local exposto. Os valores de ferro absorvido nas plantas de *S. terebinthifolius* são um pouco mais elevados (agosto/2004) que em *M. coriacea*, no entanto estatisticamente esta diferença não se mostrou significativa em função do tempo de exposição (Gráfico 11 – F e G).

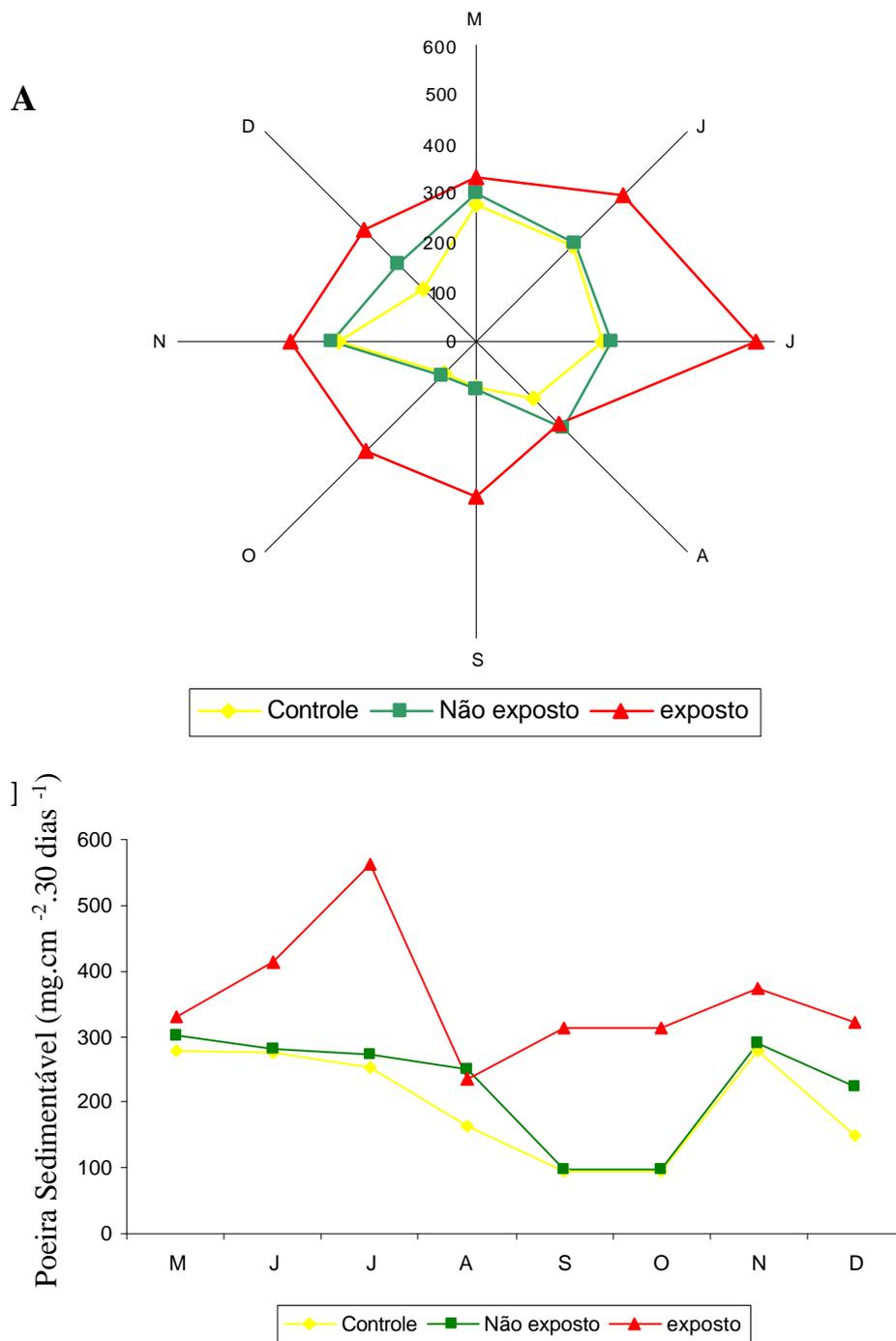


Gráfico 10 – Deposição de Poeira Sedimentável. (A e B) - Deposição da poeira sedimentável durante oito meses de exposição das plantas em área exposta e não exposta às emissões da usina e pátio de estocagem, transporte e manuseio de produtos de minério de ferro e um controle ausente total de exposição das emissões.

As plantas de *M. coriacea* diferem estatisticamente para o local exposto e não exposto, com relação ao teor de ferro acumulado em folha, caule e raiz (Folha exposto $t= 27,54$ GI 35 $P<0,01$ e Folha não exposto $t=9,19$ GI 35 $P<0,01$, Caule exposto $t=20,13$ GI 35 e $P<0,01$ e Caule não exposto $t=8,38$ GI 35 $P<0,01$, Raiz exposto $t=18,42$ GI 35 $P<0,01$ e Raiz não exposto $t= 51,32$ GI 35 $P<0,01$). Similar a outra espécie, os resultados de monitoramento mensal constataam uma elevação nos teores de ferro absorvido após dois meses (junho/2004) de exposição das plantas, mantendo-se posteriormente elevados com relação ao período de exposição e ao local mais exposto quando comparado ao não exposto (Gráfico 11 - D). Os valores de acúmulo de ferro foram maiores no local exposto nas folhas, seguidas do caule e não foi observada diferença para os valores de raiz do local exposto e não exposto ($F_{1,70}= 104,21$ $P<0,01$, $F_{1,70}= 73,65$ $P<0,01$ e $F_{1,70}= 1,51$ $P=0,22$). No local não exposto as emissões o acúmulo de ferro deu-se preferencialmente na parte subterrânea e valores muito baixos foram observados na parte aérea, ao contrário do ocorrido no local exposto.

O teor de sulfato presente nas duas espécies foi diferente durante os oito meses de exposição, ocorrendo um aumento significativo a partir de agosto de 2004 (Gráfico 12 – B e C). Comparando-se a absorção de sulfato em folha, caule e raiz do local exposto e não exposto com relação ao tempo de exposição das plantas, observamos variações relevantes para as duas espécies (Aroeira: Folha exposta $t=6,83$ GI 35 $P<0,01$ e Folha não exposta $t=7,11$ GI 35 $P<0,01$, Caule exposto $t=5,47$ GI 35 $P<0,01$ e Caule não exposto $t=5,58$ GI 35 $P<0,01$, Raiz exposto $t=6,14$ GI 35 $P<0,01$ e Raiz não exposto $t=8,46$ GI 35 $P<0,01$ - Abriçó: Folha exposta $t=5,29$ GI 35 $P<0,01$ e Folha não exposta $t=6,55$ GI 35 $P<0,01$, Caule exposto $t=9,57$ GI 35 $P<0,01$ e Caule não exposto $t=6,11$ GI 35 $P<0,01$, Raiz exposto $t=9,19$ GI 35 $P<0,01$ e Raiz não exposto $t=7,18$ GI 35 $P<0,01$).

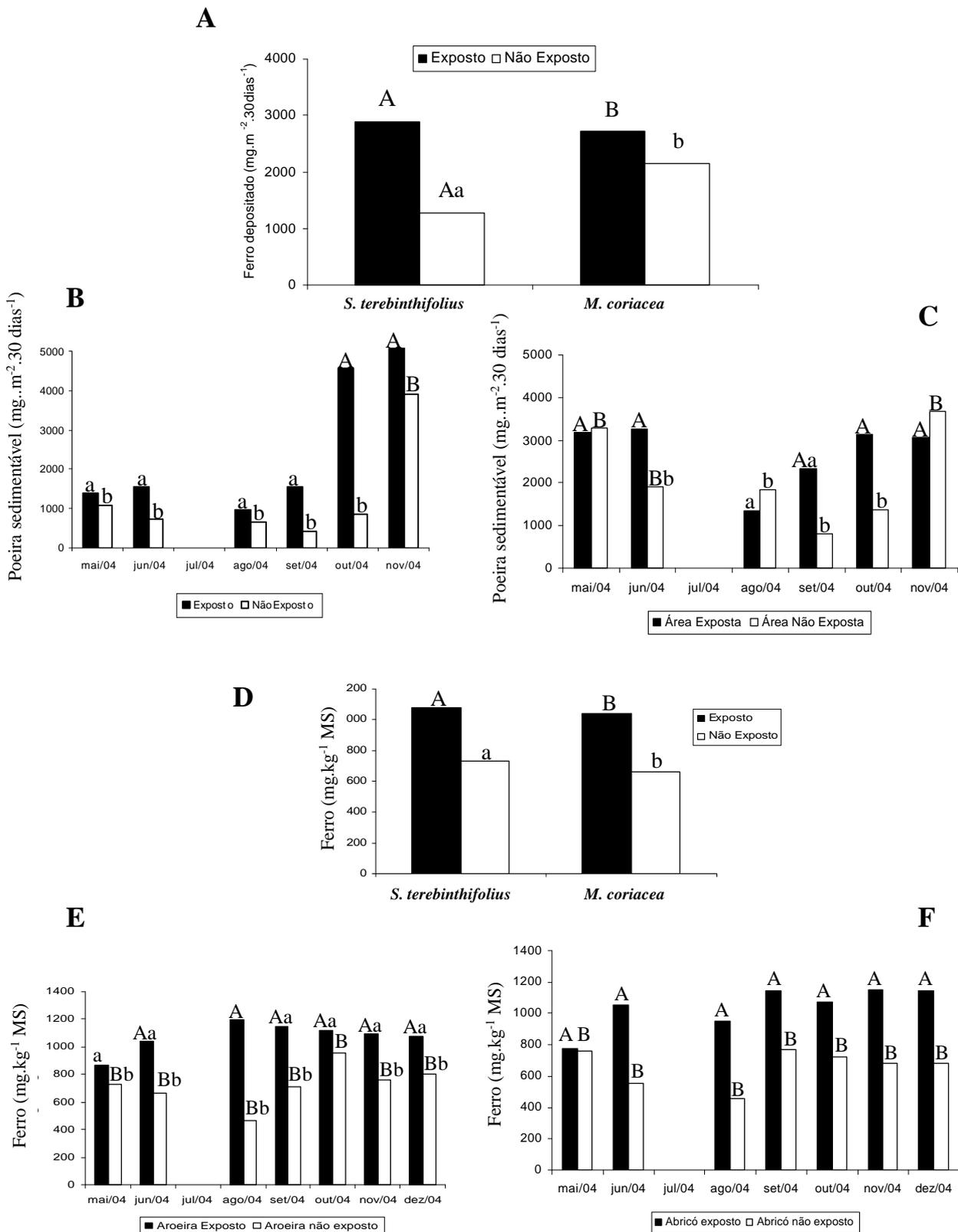


Gráfico 11 - Teor de ferro em áreas não expostas e expostas às emissões. (A) – Teor de ferro total depositado em folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. (B) – Deposição mensal de ferro na superfície foliar de *S. terebinthifolius*. (C) – Deposição mensal de ferro na superfície foliar de *M. coriacea*. (D) – Teor de ferro total absorvido em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* (E) – Teor de ferro absorvido mensalmente em *S. terebinthifolius*. (F) – Teor de ferro absorvido mensalmente em *M. coriacea*. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

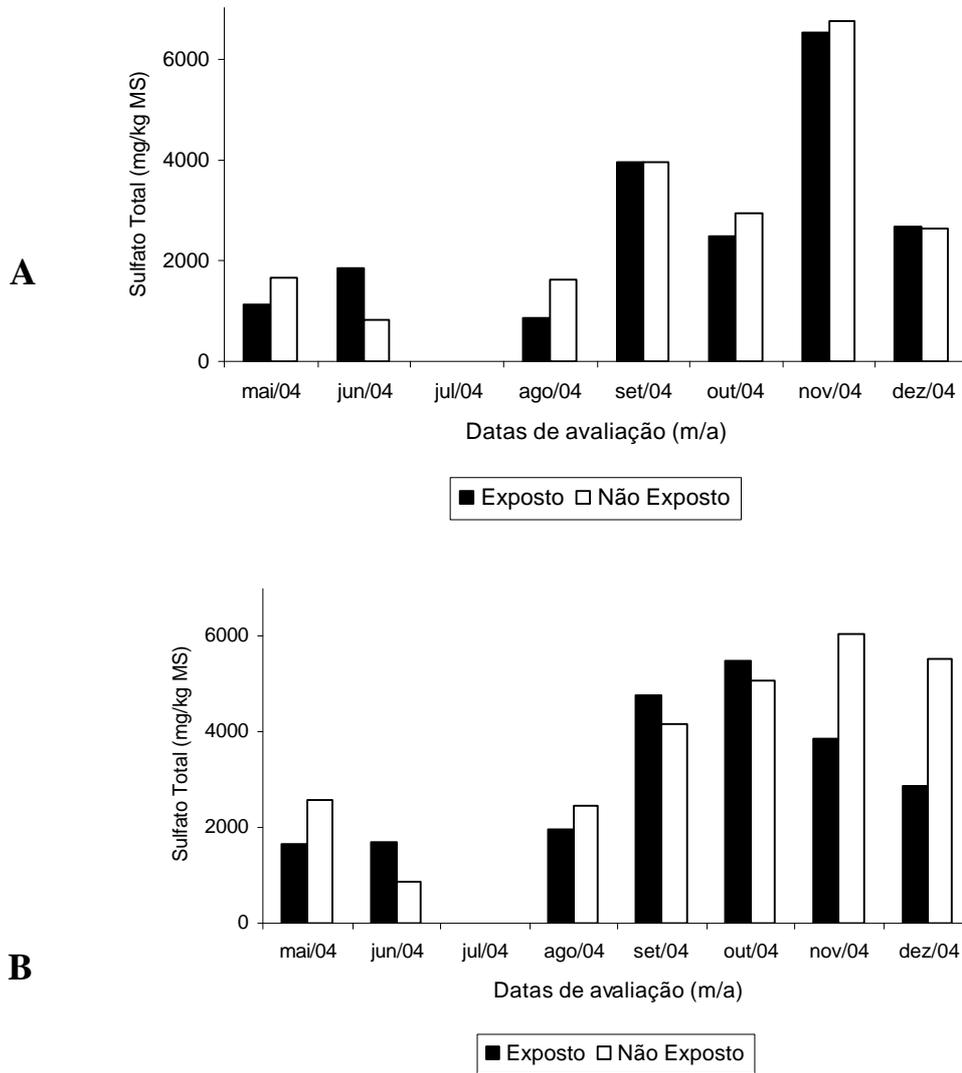


Gráfico 12 – Teor de Sulfato total em plantas de *S. terebinthifolius*. (A) - Teor de Sulfato total em plantas de *M. coriacea*. (B). Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Em *S. terebinthifolius* o acúmulo de sulfato em folha, caule e raiz não apresentaram variação com relação o local de exposição à poeira (Folha exposta e não exposta $F_{1,70}=0,39$ $P=0,53$, Caule exposto e não exposto $F_{1,70}= 2,75$ $P=0,10$ e Raiz exposto e não exposto $F_{1,70}=0,05$ $P=0,83$). Em *M. coriacea* também não houve diferença significativa entre a absorção de sulfato em folhas, caule e raiz do local exposto e não exposto (Folha exposta e não exposta $F_{1,70}=0,23$ $P=0,63$, Caule exposto e não exposto $F_{1,70}= 0,49$ $P=0,48$, Raiz exposto e não exposto $F_{1,70}=0,14$ $P=0,70$). No entanto, independentemente do local de exposição, a estratégia preferencial de armazenamento de sulfato em plantas de *S. terebinthifolius* foi à parte aérea, enquanto *M. coriacea* a parte subterrânea.

A área foliar de *S. terebinthifolius* aumentou gradativamente de maio a novembro de 2004, período de exposição das plantas, este aumento foi observado nas plantas expostas e não expostas à fonte emissora. Nas plantas expostas às emissões da usina e do pátio, este aumento foi ainda mais expressivo ($t=4,24$ Gl 11 $P<0,01$). *M. coriacea* não apresentou uma tendência tão clara, houve um decréscimo na área foliar no período de junho, agosto e setembro de 2004 e posteriormente, recuperando os índices nos meses subsequentes. Comparando a área foliar das plantas de *M. coriacea* expostas e não expostas foram encontradas diferenças significativas ($t=11,48$ Gl 11 $P<0,01$), sendo a área foliar foi mais desenvolvida no local isento de influência da área industrial ao contrário do observado em *S. terebinthifolius*. Para ambas as espécies os maiores valores de área foliar foram obtidos nos últimos meses de exposição (outubro e novembro/2004).

Com relação a peso seco os valores mostram uma tendência de aumento gradativo ao longo dos meses de exposição (Aroeira exposto $t=9,15$ Gl 19 $P<0,01$ e Aroeira não exposta $t=12$ Gl 19 $P<0,01$, Abricó exposto $t=11,59$ Gl 10 $P<0,01$ e Abricó não exposto $t=19,59$ Gl 19 $P<0,01$). Mesmo existindo diferença no peso seco ao longo do tempo do experimento, para *S. terebinthifolius* não houve diferença com relação ao peso seco das plantas expostas e não expostas ($F_{1,38}=2,85$ $P=0,10$) e, resultado diferente foi observado para plantas de *M. coriacea* expostas e não expostas ($F_{1,38}=15,67$ $P<0,01$), onde a não exposta apresentou maiores valores de peso seco (Gráficos 13 – A e B).

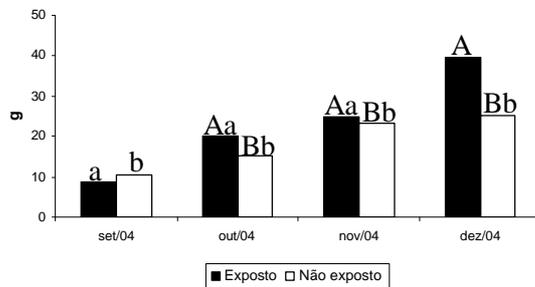
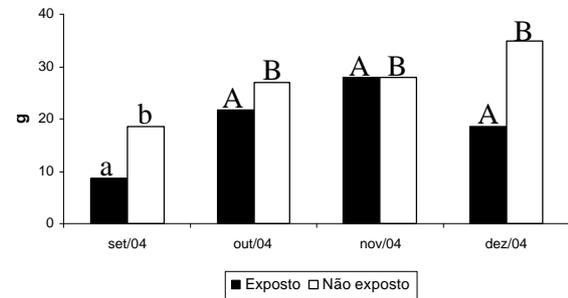
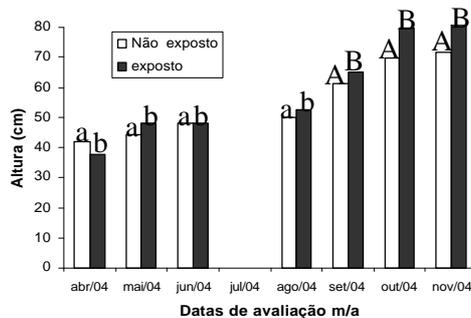
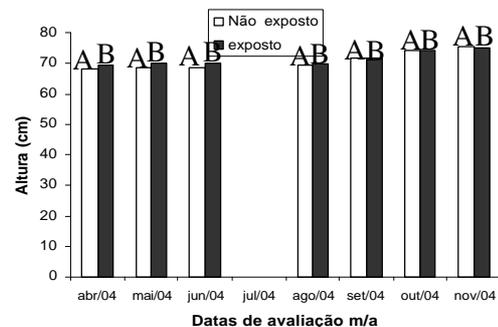
A**B****C****D**

Gráfico 13 – Avaliação das plantas expostas ao biomonitoramento ativo quanto: (A) – Peso seco de *S. terebinthifolius*. (B) – Peso seco de *M. coriacea*. (C) – Altura em *S. terebinthifolius*. (D) – Altura em *M. coriacea* em área considerada não exposta e exposta às emissões industriais. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

O número de ramos com flores de *S. terebinthifolius* variou ao longo dos meses em que durou o presente experimento (Gráficos 14 - D e E). O maior número de ramos foi verificado nos meses de maio, junho e setembro enquanto que em *M. coriacea*, não ocorreu floração durante o período deste experimento (Gráficos 14 D). No local exposto à espécie *S. terebinthifolius* com relação à frutificação, nos meses de junho a outubro de 2004 foram verificados os maiores números de ramos com frutos (Gráficos 14 – F e G). As plantas de *S. terebinthifolius* apresentaram maior média de racemos de flores ou de frutos no local não exposto. Em *M. coriacea* não foi verificada a influência do local de exposição na frutificação devido à ausência neste período de frutos para esta espécie. As plantas de *S. terebinthifolius* apresentaram menor número de ramos com flores quando expostas

às emissões, no entanto este resultado foi diferente apenas para o mês de outubro de 2004, onde os lançamentos de flores nas plantas de local exposto foram maiores do que no local não exposto ao ferro particulado e gases do tipo SO₂ (t = 5,75 GI 13 P<0,01) (Gráfico 14 D e E).

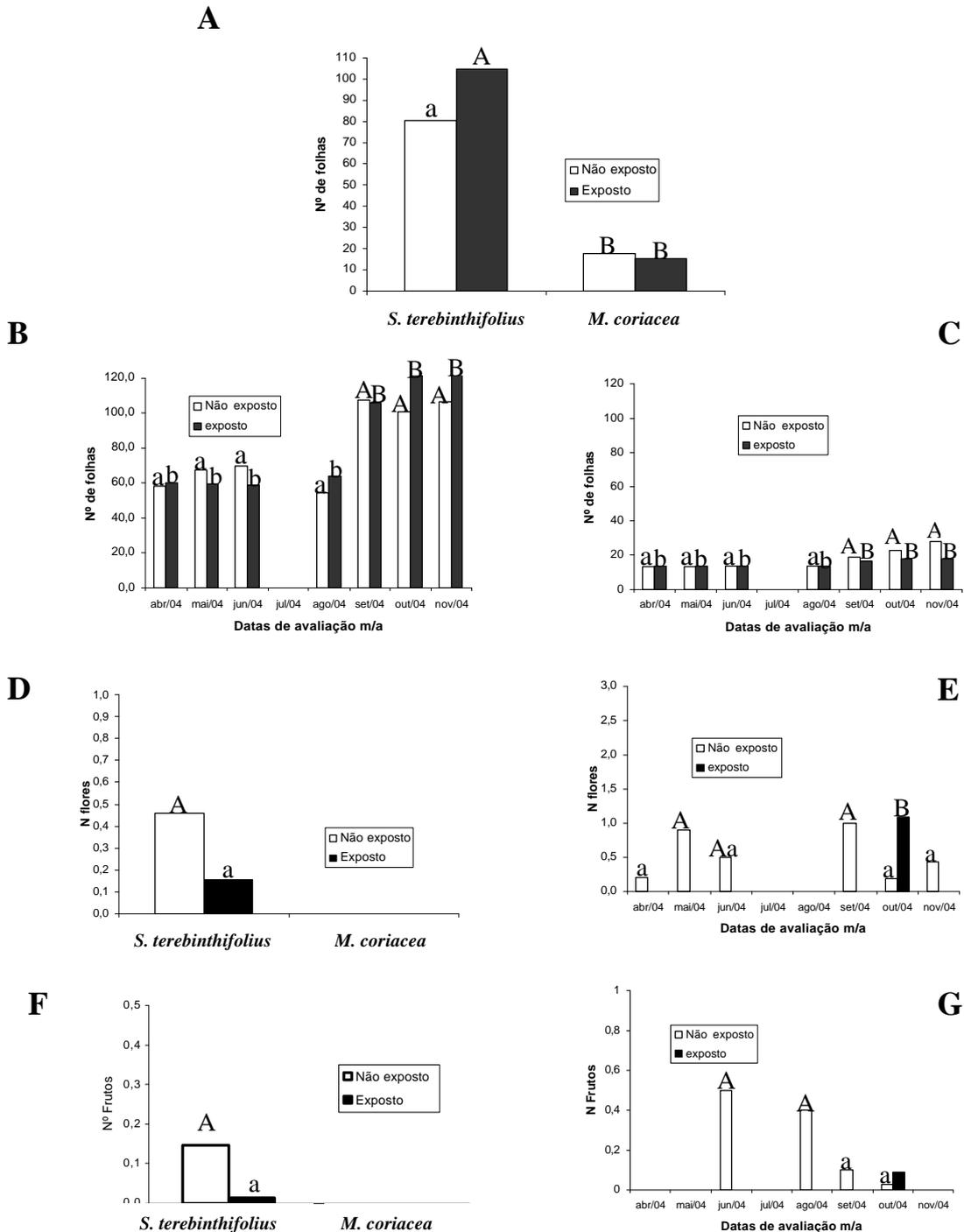


Gráfico 14 – Avaliação das plantas expostas ao biomonitoramento ativo quanto: (A) – Número de folhas totais em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. (B) – Número de folhas em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) - Número de folhas em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (D) – Número total de racemos de flores. (E) – Número de racemos de flores ao longo de oito meses de exposição de *S. terebinthifolius*. (F) – Número total de infrutescências. (G) - Número de infrutescências ao longo de

oito meses de exposição de *S. terebinthifolius*. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

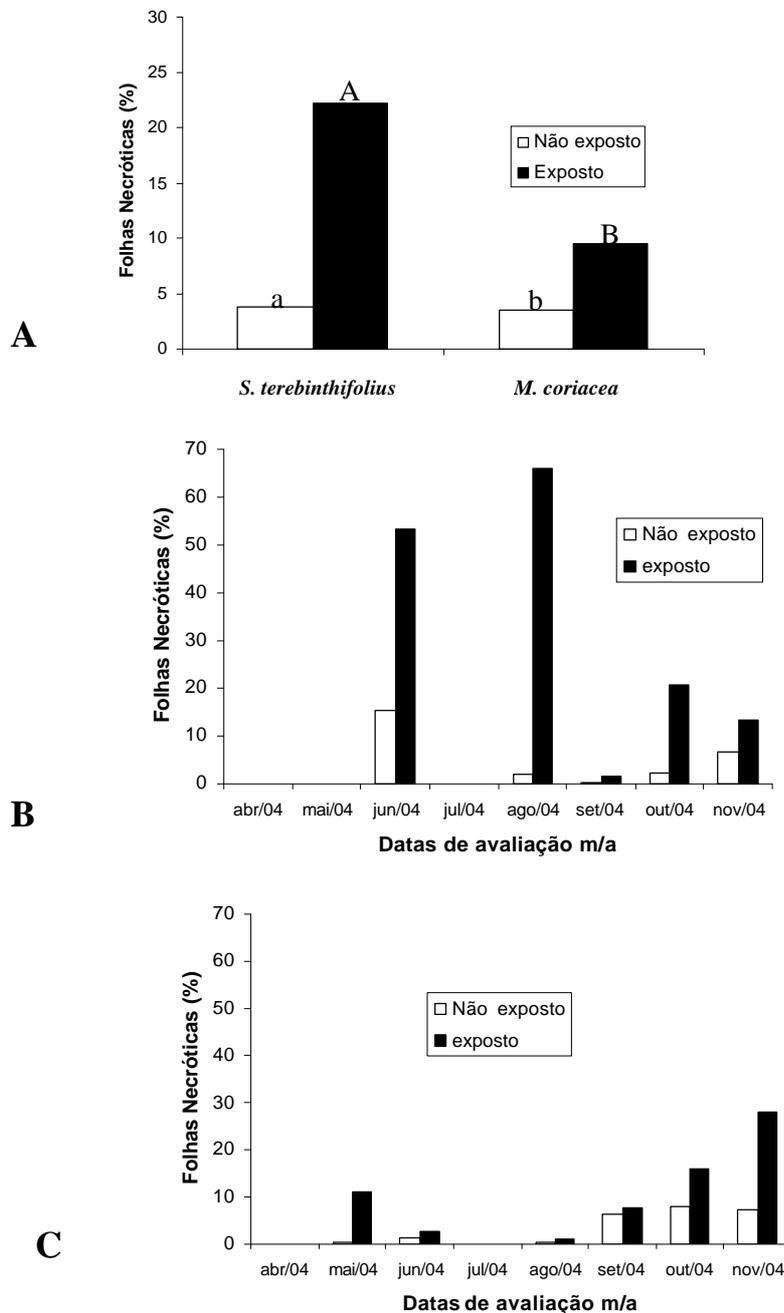


Gráfico 15 – Sintomatologia e Injúrias. (A) – Percentual de folhas necróticas total em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. (B) - Percentual de necrose em folhas de *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) - Percentual de necrose em folhas de *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

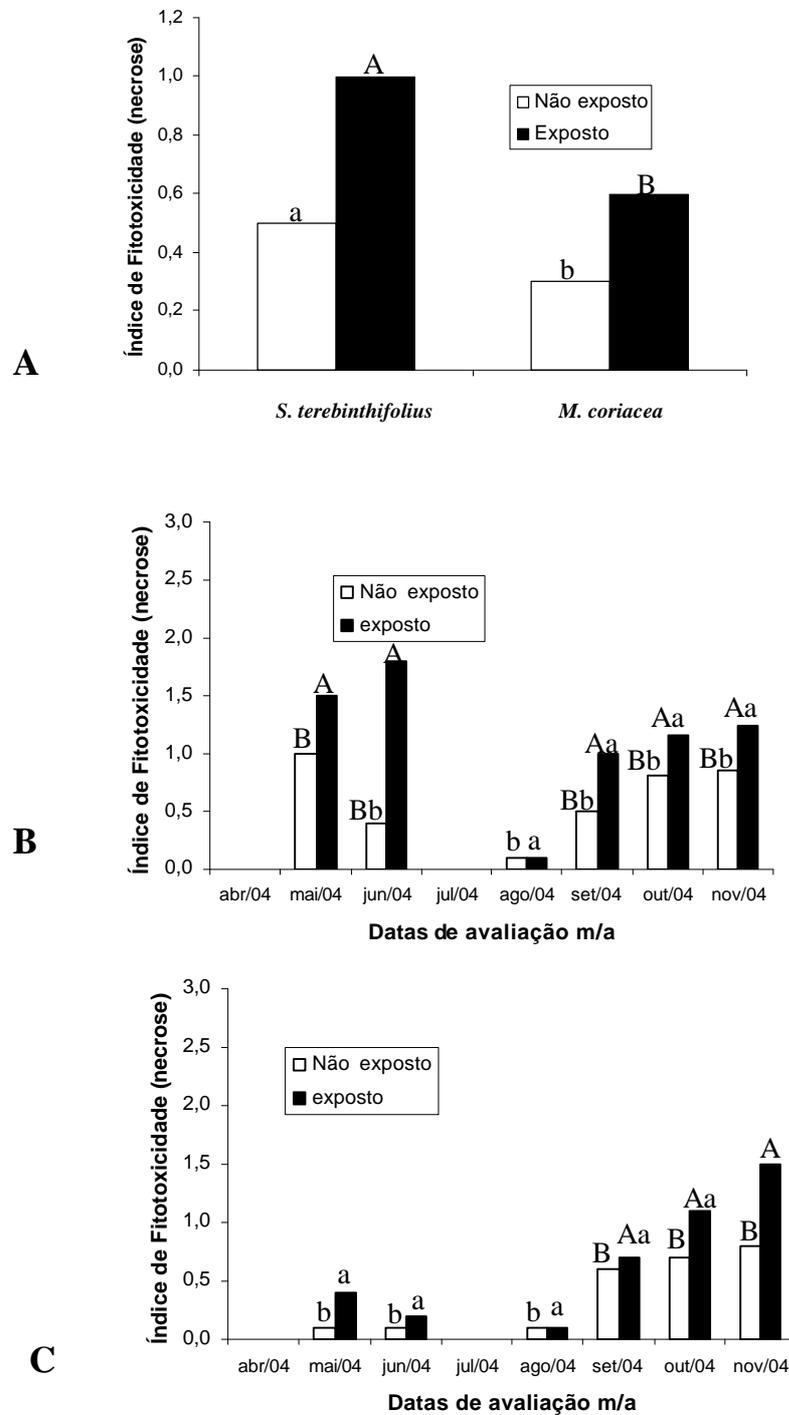


Gráfico 16 – Fitotoxicidade. (A) – Fitotoxicidade total das injúrias das folhas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. (B) - Índice de Fitotoxicidade de necrose em folhas de *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) – Índice de Fitotoxicidade de necrose em folhas de *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam medias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam

medias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

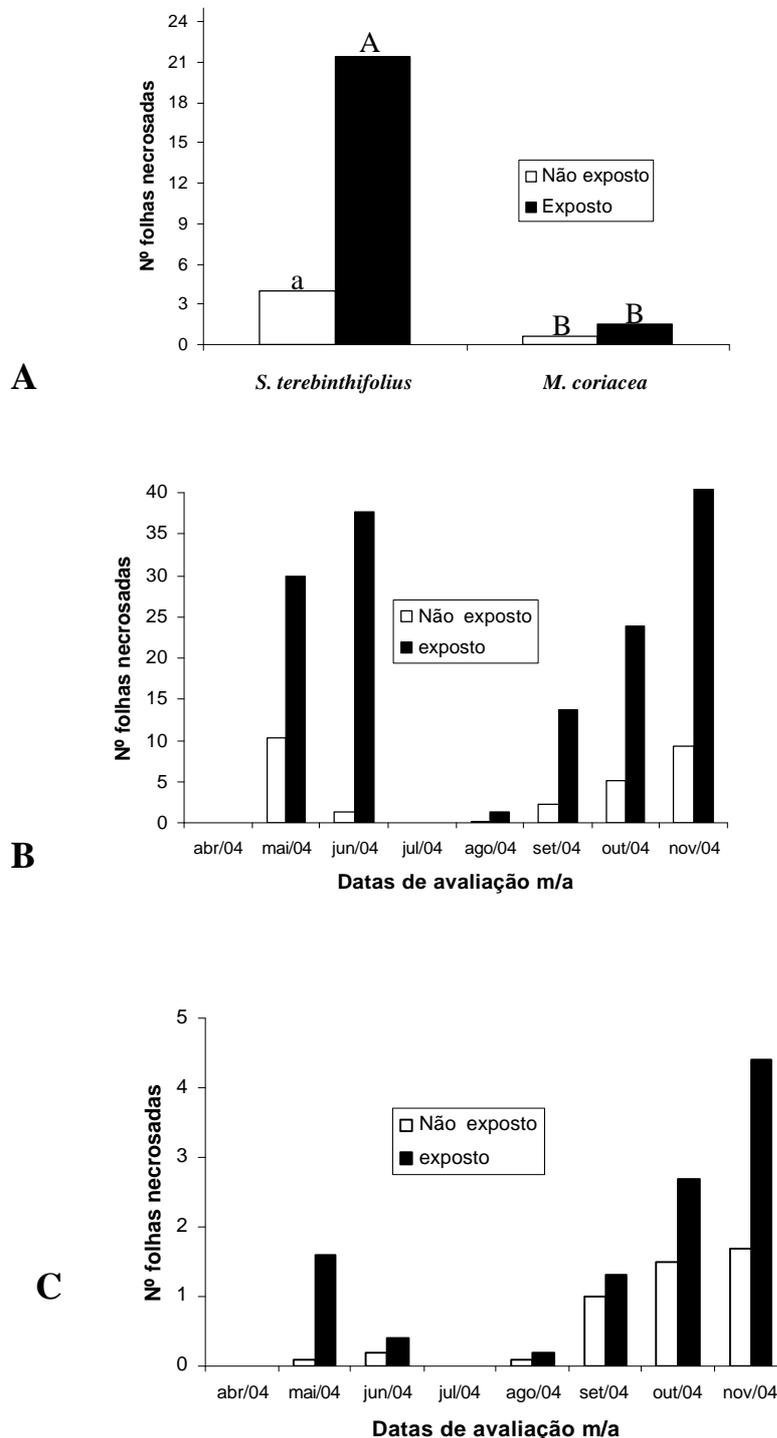


Gráfico 17 – (A) – Número total de folhas necrosadas em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. (B) -Número de folhas necrosadas em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) – Número de folhas necrosadas em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam medias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam medias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

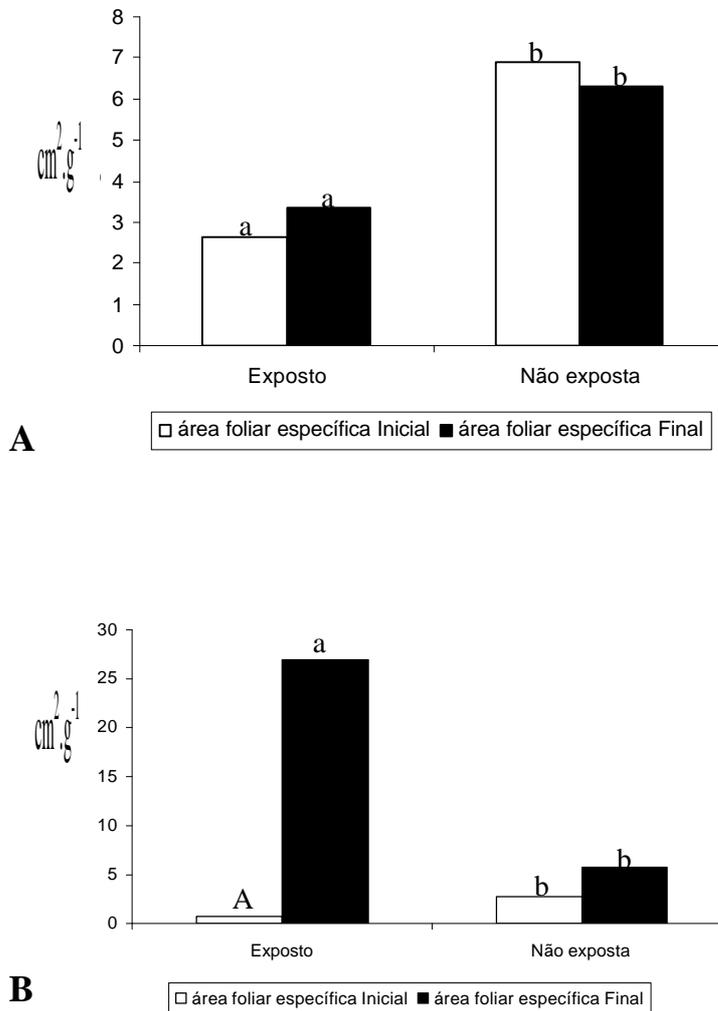


Gráfico 18 – Ação das deposições de ferro sobre a Área foliar específica inicial e final. (A) - Área foliar específica em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais. (B) - Área foliar específica em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais. Letras A compararam médias de *S. terebinthifolius* e letras B compararam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

A área foliar específica de *M. coriacea* das plantas expostas à poeira da indústria reduziu significativamente, enquanto que na área não exposta aumentou durante os oito meses de exposição. Em *S. terebinthifolius* houve um aumento da área foliar específica nas plantas expostas e não expostas às emissões.

A espécie *S. terebinthifolius* apresentou uma taxa de crescimento exponencial, com relação à altura, ao longo dos oito meses de exposição das plantas expostas e não-expostas (exposta $F_{6,269}=86,45$ $P<0,01$ e não exposta $F_{6,269}=46,23$ $P<0,01$). A

altura nos últimos meses (setembro a novembro) em *M. coriaceae* também apresentou um pequeno acréscimo significativo (exposta $F_{6,268}=3,19$ $P<0,01$ e não exposta $F_{6,268}=3,95$ $P<0,01$). Houve um acréscimo na altura das plantas de *S. terebinthifolius* expostas às condições ambientais da usina e pátio. O mesmo não foi observado para *M. coriaceae*, pois não houve variação da altura em plantas expostas e não expostas às emissões da usina e pátio ($F_{1,548}=1,25$ $P=0,26$) (Gráfico 13 D)

S. terebinthifolius apresentou maior número de folhas nas plantas expostas, enquanto que *M. coriaceae*, nas plantas não-expostas ($F_{1,549}=9,53$ $P<0,01$) (Gráfico 14 –A). Ocorreu um aumento marcante de folhas das plantas expostas e não-expostas no período de setembro a novembro para as duas espécies (Aroeira exposta $F_{6,269}=124,60$ $P<0,01$ e não exposta $F_{6,269}=23,21$ $P<0,01$ – Abricó exposto $F_{6,259}=12,59$ $P<0,01$ e não exposta $F_{6,268}=28,30$ $P<0,01$) (Gráfico 14 – B e C). O maior número de sintomas de necrose nas folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae* foi constatado nas plantas expostas às condições ambientais da usina e pátio (Gráficos 15 - A, B e C).

Em *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae*, a pesar de observado nas plantas expostas às emissões, uma maior taxa de lançamento de folhas novas, exceto para *S. terebinthifolius* nos meses de abril e agosto. Durante os meses, agosto, setembro e novembro foram observados crescimento nos lançamentos de folhas em *S. terebinthifolius* e, decréscimo em outubro. Para *M. coriaceae* os valores médios de lançamento de folhas foram mais elevados no mês de novembro e, no local não exposto as emissões da usina e pátio. No entanto estes valores para as duas espécies não são estatisticamente significativos (Aroeira: $t = 0,52$ Gl 13 $P=0,61$ e Abricó $t = 1,38$ Gl 13 $P=0,18$).

Foi constatado maior número de sintomas de necrose nas folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae* nas plantas expostas às condições ambientais da usina e pátio (Gráficos 15 - A, B e C). O número de folhas com necrose *S. terebinthifolius* foi mais elevada ($t = 2,86$ Gl 13 $P<0,01$) do que *M. coriaceae*, onde os valores não apresentaram diferença significativa ($t = 1,31$ Gl 13 $P<0,01$). O sintoma foi mais intenso nos meses iniciais e finais de exposição, respectivamente, maio, junho, setembro, outubro e novembro para *S. terebinthifolius* e maio, setembro e outubro para *M. coriaceae*.

Em *S. terebinthifolius* apenas nos meses de maio, junho, outubro e novembro foram observados maiores percentagens de folhas necrosadas, enquanto que em *M. coriaceae*, durante o período de maio e setembro a novembro (Gráficos 15). Em todas as espécies, as maiores percentagens de folhas necrosadas ocorreram no local exposto.

Nas plantas das duas espécies analisadas foram observadas diferenças significativas nos índices de fitotoxicidade de necrose, tendo o menor índice sido observado em agosto (Gráfico 16). As plantas de *S. terebinthifolius* apresentaram maior índice de fitotoxicidade no local de exposição, principalmente nos meses de maio, junho e, setembro a novembro. Em *M. coriaceae* os valores de necrose foram mais elevados nos três últimos meses de exposição (setembro a novembro). Nas duas espécies avaliadas, as plantas expostas às emissões da usina apresentaram maiores índices de fitotoxicidade do que as plantas não expostas (Aroeira: $t = 4,66$ GI 13 $P < 0,01$ e Abriçó $t = 6,52$ GI 13 $P < 0,01$).

Em *S. terebinthifolius* as maiores diferenças de temperatura entre o ar e as folhas ocorreram nas plantas não expostas ($F_{1,546} = 5,30$ $P < 0,02$), enquanto que as plantas de *M. coriaceae* apresentaram maiores diferenças de temperatura entre o ar e as folhas nas plantas expostas ($F_{1,547} = 4,51$ $P < 0,03$) (Gráficos 19 - A e C). Comparando tanto as plantas não expostas e expostas de *S. terebinthifolius* e *M. coriaceae*, pode-se observar que ocorreu um aumento significativo na diferença de temperatura do ar e das folhas nos meses de abril, setembro e outubro durante o período de oito meses de exposição ativa (Aroeira exposta $F_{6,265} = 40,81$ $P < 0,01$ e não exposta $F_{6,265} = 15,73$ $P < 0,01$ – Abriçó exposta $F_{6,269} = 110,30$ $P < 0,01$ não exposta $F_{6,266} = 24,87$ $P < 0,01$).

Nas duas espécies estudadas verificaram-se tendências diferentes, ou seja, em *S. terebinthifolius* ocorreu um aumento da transpiração nas plantas expostas à usina e pátio (Gráfico 20 - A). Quanto aos períodos de exposição estas taxas de transpiração foram elevadas nos períodos de novembro a dezembro de 2004 para *S. terebinthifolius* (expostas e não expostas) e em junho de 2004 para *M. coriaceae* exposto às fontes emissoras (Aroeira exposta $F_{6,47} = 8,03$ $P < 0,01$ não exposta $F_{6,46} = 10,92$ $P < 0,01$ - Abriçó exposto $F_{6,50} = 8,23$ $P < 0,01$ não exposto $F_{6,50} = 9,98$ $P < 0,01$).

S. terebinthifolius apresentou valores médios de condutância estomática mais elevada nos meses maio e junho de 2004 para plantas não expostas e nos

meses de agosto e dezembro de 2004 para plantas exposta as condições industriais (Gráfico 21- A).

Resultados mais elevados de condutância obtidos de para *M. coriacea* são dos meses junho, agosto e outubro de 2004 para as duas condições de exposição (exposta $F_{6,50}=13,30$ $P<0,01$ não exposta $F_{6,50}=9,49$ $P<0,01$). Assim com a relação à condutância (g_s), as duas espécies analisadas possuem comportamentos muito distintos, em *S. terebinthifolius* a g_s é mais alta nas plantas expostas no pátio e, o contrário ocorre para *M. coriacea* onde a g_s é mais elevada nas plantas que não tem influencia direta dentro da área industrial, denominadas não expostas (Gráfico 21-B).

Quanto à fluorescência não foi observada diferença significativa entre as estações expostas e não expostas (Aroeira $F_{1,46}=0,59$ $P=0,45$ e Abricó $F_{1,46}=0,06$ $P=0,81$). Porém foi observada diferença com relação às datas de exposição para *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*, (Aroeira Exposta $t=8,45$ GI_{27} $P<0,01$ e não exposta $t=10,48$ GI_{23} $P<0,01$ – Abricó exposto $t=8,47$ GI_{29} $P<0,01$ e não exposto $t=11,03$ GI_{23} $P<0,01$), com relação ao mês de agosto de 2004, onde os valores tanto para plantas expostas quanto para as não expostas aos agentes emissores da usina foram muito reduzidos, constatando alteração da taxa de fluorescência neste período (Gráfico 22 A e B).

A assimilação líquida de CO_2 , em *S. terebinthifolius* não apresentou variação significativa nas plantas expostas e não expostas às condições da usina e pátio, enquanto para *M. coriacea* o resultado encontrado apresenta maior valor médio para as plantas que não ficaram expostas à usina e pátio (Gráfico - 22 C e D). Para as duas espécies houve um acréscimo nas taxas de assimilação líquida de CO_2 a partir de maio de 2004, sendo que a fotossíntese em *S. terebinthifolius* foi crescente ao longo dos meses de avaliação, enquanto para *M. coriacea* os valores decresceram a partir de setembro de 2004. Estatisticamente ocorreram diferenças significativas para as duas espécies com relação ao período de exposição nos dois locais: exposto e não exposto (Aroeira exposta $F_{6,47}=14,82$ $P<0,01$ não exposta $F_{6,47}=14,85$ $P<0,01$ – Abricó exposta $F_{6,50}=39,27$ $P<0,01$ não exposta $F_{6,50}=970$ $P<0,01$).

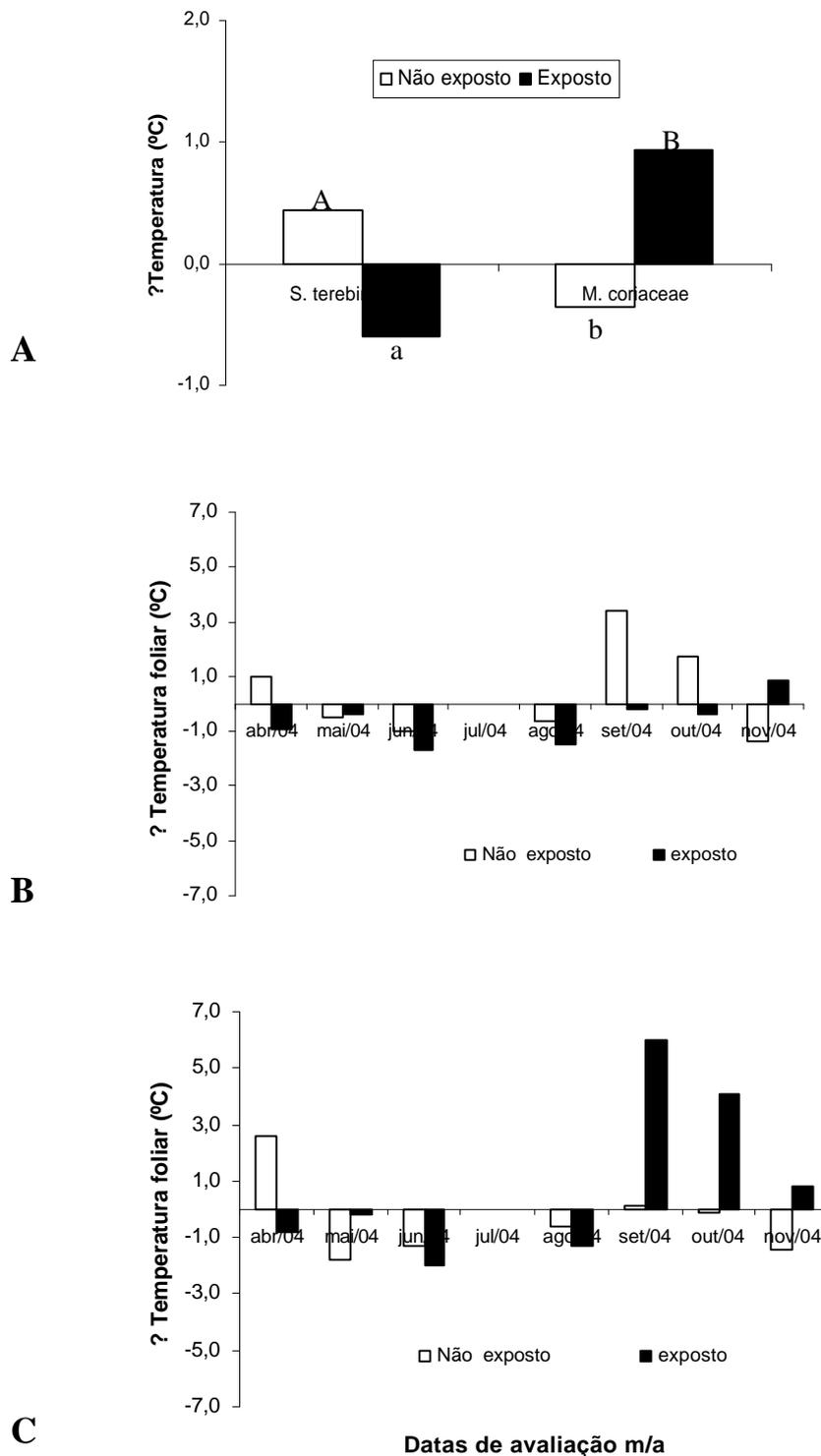


Gráfico 19 – Ação das deposições de ferro sobre a temperatura foliar de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*. (A) – Diferença total de temperatura ar-folha em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* e ao longo do período de exposição. (B) – Diferença de temperatura ar-folha *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) - Diferença de temperatura ar-folha *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

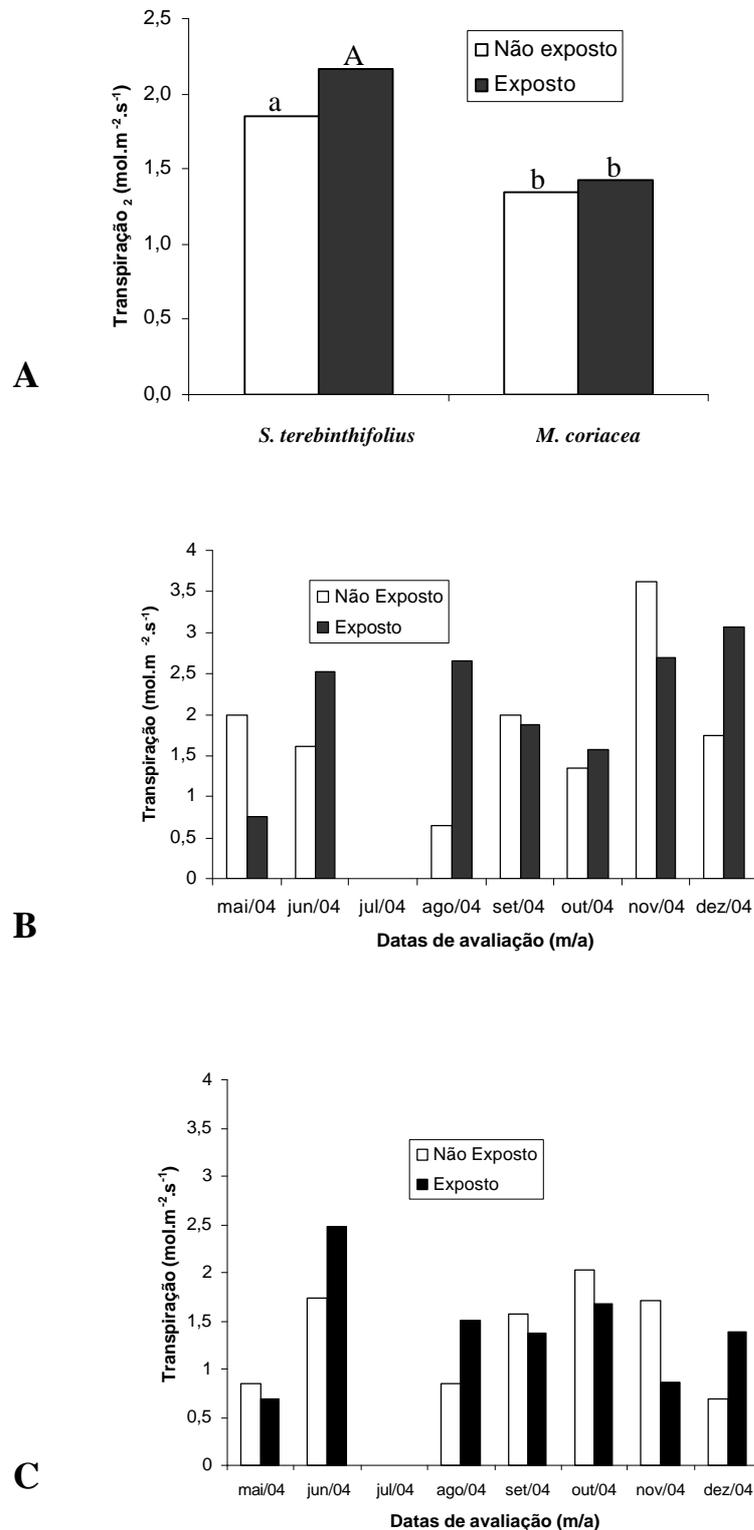


Gráfico 20 – (A) Ação das deposições de ferro sobre a Transpiração total em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* e ao longo do período de exposição. (B) – Transpiração em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) – Transpiração em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

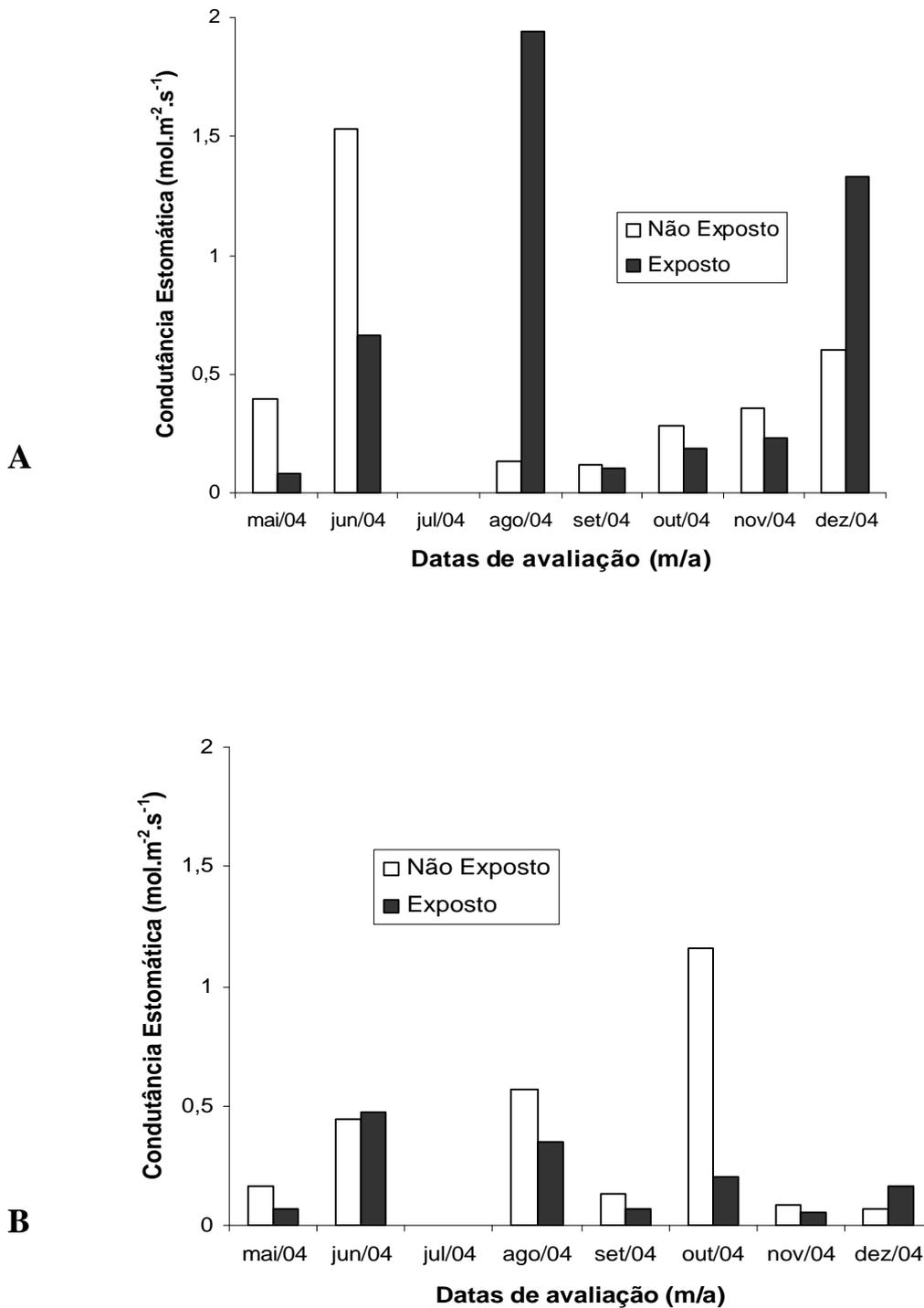
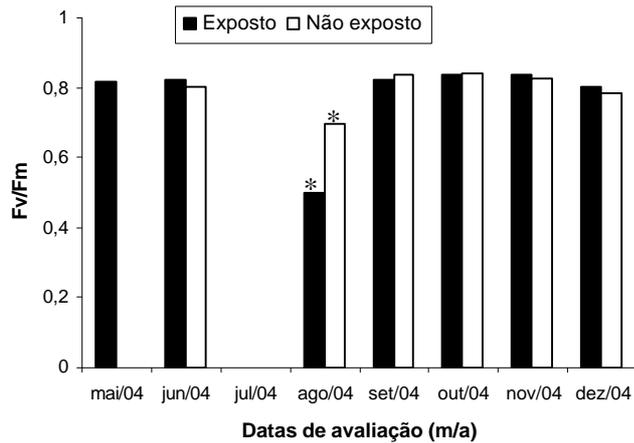
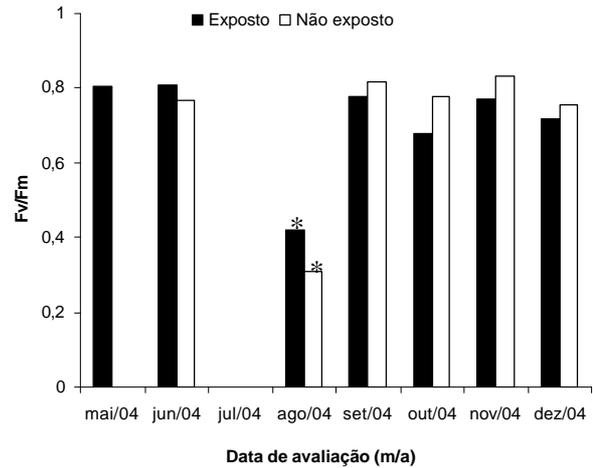


Gráfico 21 - Ação das deposições de ferro sobre a Condutância estomática em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses (A). Condutância estomática em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses (B). Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

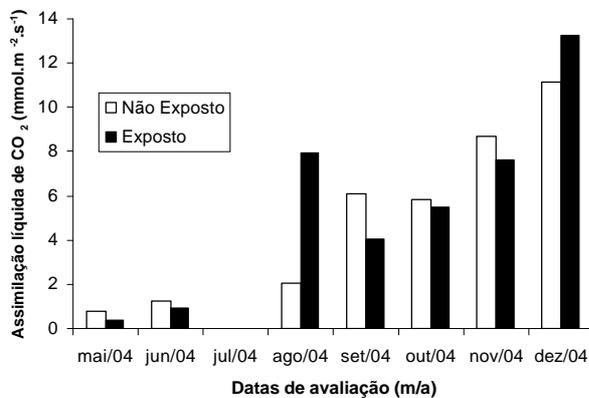
A



B



C



D

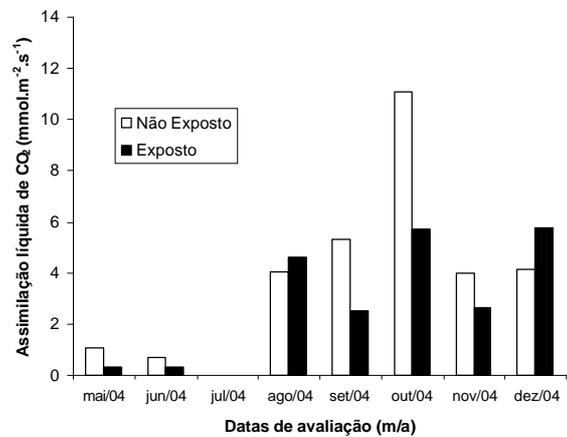


Gráfico 22 - Ação das deposições de ferro sobre a: (A) -Fluorescência em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (B) - Fluorescência em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (C) – Assimilação líquida de CO₂ em *S. terebinthifolius* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. (D) - Assimilação líquida de CO₂ em *M. coriacea* exposta e não exposta às emissões industriais durante oito meses. Letras A comparam médias de *S. terebinthifolius* e letras B comparam médias de *M. coriacea*. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou mesma maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Turkey.

Uma das características da família Anacardiaceae é a presença de canais/cavidades de goma-resina, geralmente associados ao floema (METCALFE & CHALK 1950). Representantes da família Anacardiaceae apresentam tricomas multicelulares ou unisseriados em algumas espécies. A estrutura foliar é bifacial (tecido paliçadico), o estômato é confinado, anfiestomático, apresenta diferentes pêlos, muito possivelmente com função glandular denominado pêlos glandulares. Possuem canal secretor de látex.

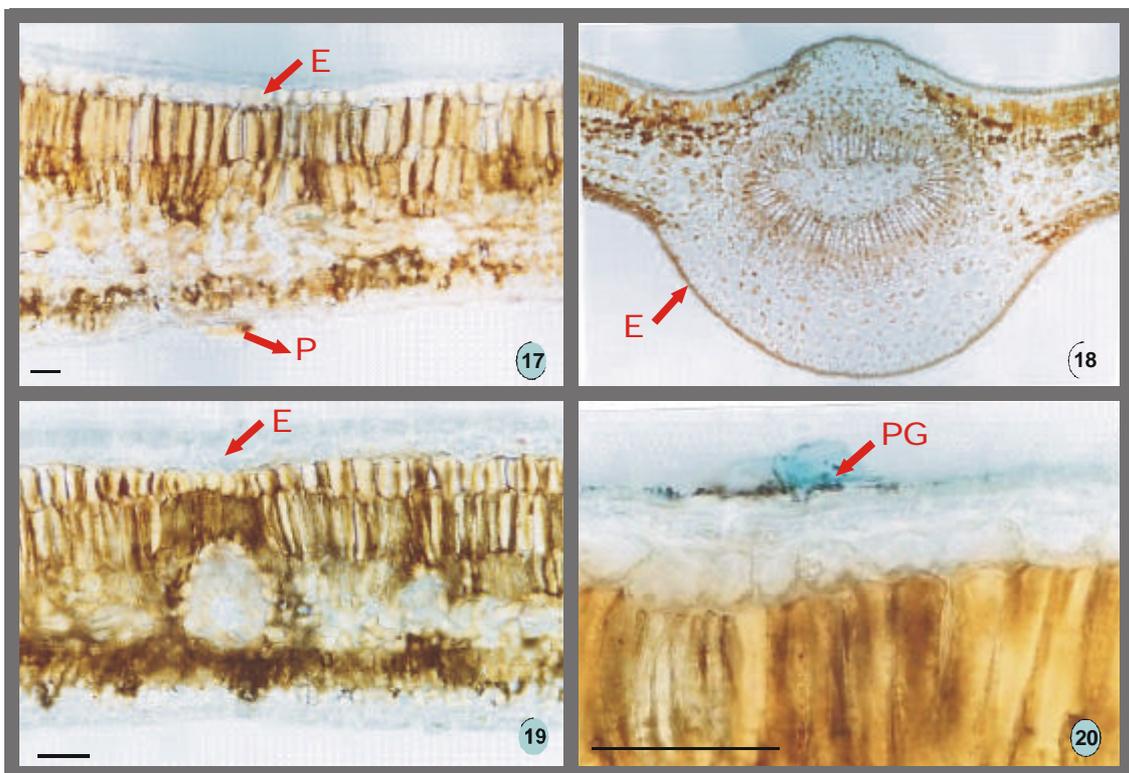
Nas lâminas de *S. terebinthifolius* pode-se observar na nervura mediana a epiderme unisseriada, presença de cutícula espessa, abaixo da epiderme, colênquima angular, parênquima, feixes vasculares (F/X/F) e canais resiníferos.

Na estação onde as plantas foram expostas a uma área industrial, respectivamente, o pátio de estocagem da usina de pelletização de minério de ferro, as plantas apresentaram resultados positivos no teste histoquímico para absorção de ferro, assim como na área não exposta. Porém a presença de ferro foi mais intensa na área exposta às condições industriais. Houve absorção de ferro, podendo ser observada através da presença de ferro nos estômatos e absorção e translocação deste ferro internamente, podendo ser constatado a presença do ferro na epiderme, hipoderme, colênquima e no xilema (Figura 17 a 20).

M. coriacea pertence à família das Sapotaceae, que se caracteriza por apresentar hipoderme e fibras esclerenquimatosas no mesófilo, são laticíferas, possuindo sacos laticíferos. Existem dois aspectos taxonômicos, reconhecidos nos membros desta família: em condições estéreis e em desenvolvimento. No primeiro estágio a presença de pelos unicelulares e no segundo estágio presença de sacos laticíferos. A paliçada consiste de uma ou mais camadas, ocasionalmente o número de camadas determina o grupo de espécies com largos espaços intercelulares. A cutícula ocorre preferencialmente na superfície abaxial da folha e demonstram irregularidades como grânulos, estrias e papilas.

O *M. coriacea* apresentou uma reação pequena a nível cuticular, a espécie apresenta estômato em depressão na face abaxial, cutícula espessa nas duas faces, sem presença de tricomas, rota alternativa a entrada de poluentes. Possui hipoderme e três camadas de paliçadas e a disposição das suas folhas em 45° permite uma melhor lixiviação das partículas aderidas de poeira sedimentável na planta. Plantas com estas características (estômatos de depressão) são adaptadas a estresse hídrico – xeromorfias são resistentes à perda de água.

Com relação à presença de ferro na estrutura das plantas expostas as plantas de *M. coriacea* apresentaram pouca reação positiva nos dois locais expostos, porém mais intensa nas plantas expostas no pátio de estocagem, detectado ferro na cutícula e epiderme, colênquima, parênquima lacunoso e na depressão dos estômatos. Esta espécie apresenta-se anatomicamente mais resistente ao tipo de poluente analisado, inclusive devido suas características morfológicas como a orientação e disposição das suas folhas (Figuras 17 a 20).



Figuras 17 - 20 – Acúmulo de ferro em folhas coletadas em plantas não expostas e expostas às emissões da usina. Figuras 17 a 20 - Detecção de ferro em cortes transversais da lâmina foliar de folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* expostas à fonte emissora, com azul de Prússia, observados ao microscópio fotônico. Presença de P – Pêlo, PG – Pêlo Glandular, C – Cutícula, E – epiderme, NM –nervura mediana. Barras = 50 µm.

4 - Discussão

Os dados das emissões de partículas totais em suspensão e de SO₂ nos oito meses em que o presente experimento foi conduzido constataram que as emissões da usina de pelletização influenciam não só as condições atmosféricas como também as condições de vida da vegetação no seu entorno. A emissão do SO₂ se encontra dentro dos padrões aceitáveis de acordo com a resolução nº 3 do Conselho Nacional de Meio Ambiente de 1990. As emissões de SO₂ e deposições de ferro particulado, assim como sua ação sobre as plantas, puderam ser confirmadas pela deposição foliar de ferro e pelas quantificações dos teores de ferro e de enxofre nas plantas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea* expostas em diferentes distâncias da fonte emissora e nas regiões do pátio de armazenamento e manuseio de produtos de minério de ferro e na área considerada de não exposição destes.

Lopes e Vuono (1984) analisando folhas de diferentes espécies expostas a 1 e 3,5 km de uma fonte poluidora, constataram aumento do peso seco das plantas expostas aos contaminantes mais próximo a usina siderúrgica. Mesmo após a chuva muito dos resíduos aderidos às folhas não são lixiviados para o solo. Além dos efeitos fisiológicos, provocados por absorção foliar dos elementos tóxicos, devem-se considerar os efeitos mecânicos do material particulado depositado, o qual origina um verdadeiro filme impermeável sobre a superfície das folhas, prejudicando todos os processos que envolvam trocas gasosas.

O particulado total em suspensão (PTS) representa um impacto tanto físico quanto químico à vegetação exposta. Contudo, a intensidade do impacto depende da natureza das partículas, da intensidade e frequência das deposições, bem como da susceptibilidade e estágio do organismo afetado. A magnitude dos efeitos desta forma de poluição pode atingir patamares suficientes para causar modificações na estrutura das comunidades vegetais expostas (WONG, 1978).

Os mecanismos primários pelos quais as partículas afetam as comunidades vegetais são através de efeitos físicos por: sombreamento da superfície foliar, abrasão e aquecimento foliar, alteração no controle estomático, devido à penetração das partículas na câmara subestomática; e efeitos químicos por: diretamente induzir, nas folhas, a lixiviação de nutrientes e indiretamente ao afetar pH, o estado nutricional, bem como a microflora do solo. Os efeitos químicos, tanto no solo como

diretamente na superfície da planta pode ser mais importante do que qualquer efeito físico (GRANTZ *et al.*, 2003).

As características climáticas, como a precipitação pluviométrica e a intensidade do vento, bem como características morfológicas e anatômicas das folhas das espécies, como exemplo a presença de cutícula espessa, pelos e a disposição da folha na planta, estão diretamente envolvidos na quantidade da deposição e posterior absorção do ferro depositado sobre as folhas. Assim, comparando-se as folhas das espécies pôde-se verificar maior retenção foliar de ferro em *S. terebinthifolius* do que em *M. coriacea*. Estas últimas, provavelmente, por apresentar folhas cerosas e inseridas no caule sob ângulo de 45°, favorecendo a lavagem/retirada do ferro depositado pela precipitação pluviométrica ou o vento (MACLEAN *et al.*, 1989).

O teor de ferro total encontrado nas folhas de *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*, após oito meses de exposição à deposição particulada, foi superior às suas necessidades (LARCHER, 1995; DOBERMANN e FAIRHURST, 2000). Os teores foliares de ferro nas plantas localizadas a 200 m da fonte emissora chegaram a 1038 mg.kg⁻¹ e 898 mg.kg⁻¹ em *S. terebinthifolius* e *M. coriacea*, respectivamente, resultados superiores aos níveis tóxicos admitidos para as plantas cultivadas (MARSCHNER, 1995; DOBERMANN e FAIRHURST, 2000). Segundo Levy *et. al* (1999) são considerados normais teores de ferro no material vegetal entre 30-300 µg.g⁻¹, fitotóxico >500 µg.g⁻¹ e <40 deficiente em ferro.

Olivares (2003) estudando os efeitos de chumbo na espécie *Tithonia diversifolia* exposta à poluição por automóveis em rodovias, observou um aumento de chumbo (Pb) em folhas de plantas expostas em locais de tráfego mais intenso, bem como, o conteúdo de Cr, Al, Fe, Cu e Ni. Não houve diferença significativa nos conteúdos de clorofila e carotenóides nas plantas encontradas em locais de maior e menor tráfego. Pugh *et. al.* (2002) verificaram o gradiente de acúmulo de ferro nas folhas de *Ledum sp.* e *Salix sp.* expostas em cinco diferentes distâncias (de 0,25 a 30km e uma área controle a 200 km) de uma mina de chumbo/zinco, onde o efeito de acúmulo foi maior nas estações mais próximas até a estação a 2,5 km da usina.

O teor de ferro encontrado nas espécies vegetais expostas às deposições particuladas e gasosas, durante este estudo, foram muito superiores ao nível crítico proposto de 300 a 500 mg.kg⁻¹ (MARSCHNER, 1995; DOBERMANN e FAIRHURST, 2000), demonstrando que as plantas absorvem o ferro emitido pela usina. Este fato

também foi comprovado para esta mesma área por Lopes *et. al* (2000) e Silva (2003) analisando respectivamente o impacto das deposições particuladas e gasosas em uma espécie de Myrtaceae, em *Sophora tomentosa* e em *E. uniflora* e *C. hilariana*, espécies nativas de restinga como as deste estudo.

M. coriaceae apresentou teores elevados de ferro depositado e ferro e sulfato absorvido, aumento da transpiração (**E**), redução da área foliar e aumento do peso seco como consequência aumento da taxa de fotossíntese (**A**) e da condutância estomática (**gs**), nenhuma variação na altura e na fluorescência (exceto em agosto), aumento no Δt ($^{\circ}\text{C}$), menor número de folhas e nenhum efeito quanto ao lançamento de folhas novas, ao número de flores e frutos quando se expôs as plantas às emissões da usina, em relação a área não exposta. Esta espécie foi, aparentemente, a mais afetada pela deposição particulada.

Por outro lado, *S. terebinthifolius* apresentou na área exposta as emissões um maior deposição e assimilação de ferro e sulfato, aumento expressivo da área foliar, do número de folhas, da altura e do peso seco como consequência das elevadas taxas de **A**, **gs** e **E**, nenhum efeito quanto a fluorescência (exceto mês de agosto/2004), diminuição do Δt ($^{\circ}\text{C}$), e verificou-se um reduzido desenvolvimento no número de flores e frutos. A estratégia usada por *S. terebinthifolius*, portanto, parece ter sido o investimento na produção de novas folhas e reduzindo o desenvolvimento de flores e frutos. A deposição particulada de ferro afetou, portanto, a reprodução sexuada desta espécie, podendo levar, ao longo do tempo, a eliminação da referida espécie na área afetada pela usina à semelhança do citado por Grantz *et al.* (2003).

S. terebinthifolius mostrou uma grande plasticidade produzindo maior número de folhas novas e havendo um incremento na altura e peso seco na medida em que aumentaram os dias de exposição. *M. coriacea*, ao contrário, não produziu mais folhas e nem foi significativo com relação à taxa de crescimento nos últimos meses de exposição. O ferro e o enxofre, elementos essenciais para as plantas, podem ter agido, até um determinado teor, como fertilizantes foliares em *S. terebinthifolius*, estimulando a produção de biomassa foliar, conforme relatado para *Pinus ponderosa* por Momem *et al.* (1996) e para *E. uniflora* por Silva (2003).

Existe uma relação entre o efeito da temperatura e da umidade relativa na absorção do SO_2 pelas plantas (GUDERIAN, 1977). Na faixa de 5-30 $^{\circ}\text{C}$ há um aumento da captação do SO_2 em plantas sensíveis, que reduz com o fechamento dos estômatos (MANSFIELD and FREER-SMITH, 1984). A influência da temperatura na

resistência, é importante abaixo de 5° e acima de 30°. O aumento da umidade relativa em de 35 para 75% promove a absorção de SO₂ pelas folhas (LIZON, 1969)

Segundo Lizon, (1978) fatores correlacionados que contribuem para a injúria por SO₂, são a planta em crescimento, com adequada luminosidade, irradiação, temperatura moderada, umidade relativa alta e nutrição suficiente.

O enxofre é reconhecidamente um nutriente essencial para a planta a mais de 200 anos (ALWAYS, 1940). É requerido no metabolismo intermediário e é um constituinte de vários compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas que vão formar os tecidos das plantas. Em um dos caminhos, as plantas absorvem o enxofre na forma de sulfato através do solo, pelas raízes, outra via é pelas folhas, absorvendo o enxofre na forma de SO₂ proveniente da atmosfera. (THOMAS et al. 1943, THOMAS, 1951, FREID, 1948, FALLER, 1971). Até certo ponto o SO₂ pode vir a ser nutriente ou toxina, estas funções possuem numerosas inter-relações bióticas internas e abióticas - fatores externos ambientais.

A altura das chaminés da usina e as condições climáticas parecem ter produzido efeito protetor muitas vezes sobre as plantas localizadas mais próximas a elas, tendo em vista que o número e a percentagem de folhas necrosadas foram menores na estação localizada a 800 e 1400 m da fonte emissora. No entanto, o mesmo não é observado para o índice de fitotoxicidade de necrose nas plantas, estando as plantas menos necrosadas, porém com injúrias mais graves.

As plantas em geral apresentaram sintomas de necrose mais evidentes nas estações a 200, 800 e 1400 metros de distância da fonte emissora. Estes dados estão de acordo com os apresentados por Lopes *et al.* (2000) e Silva (2003) nos quais as mudas de uma espécie da família Myrtaceae e de *Sophora tomentosa*, expostas às deposições semelhantes às do presente trabalho, apresentaram as maiores necroses nas plantas localizadas a 800 m e 1400 m da fonte emissora. Segundo Grantz *et al.* (2003), dependendo das condições climáticas e da topografia, as nano partículas podem permanecer no ar por dias e meses e podem ser transportadas de 1000 a 10.000 km de distância da fonte emissora.

A redução dos valores de clorofila a e b e carotenóides, nas duas espécies estudadas nas plantas a 800 metros, indica que dois processos podem estar sendo afetados: a síntese e ou a degradação da clorofila, no entanto com relação ao gradiente espacial não foram observadas diferenças com relação à área não exposta e exposta durante os oito meses do experimento. A síntese pode estar sendo

reduzida, provavelmente em função do ferro depositado, que provoca sombreamento da folha, limitando a radiação incidente, conforme sugere Grantz et al. (2003). A degradação da clorofila, por sua vez, pode ser consequência de estresses oxidativos produzidos pelo excesso de íons ferro livres após a absorção foliar (SINHA *et al.*, 1997; BECANA *et al.*, 1998). Os pigmentos foliares vêm sendo utilizados para diagnosticar os efeitos da poluição atmosférica. Horsman e Wellburn (1976) relataram o decréscimo na concentração de clorofila a em plantas expostas ao SO₂. Muller (1957) observou a degradação da clorofila a e b em *Albies alba* expostas a SO₂, no entanto sugere que a degradação preferencial é da clorofila a para *Medicago sativa*, *Picea abies* e *Quercus smithii*. Os carotenos são o segundo mais abundante pigmento do tecido foliar depois das clorofilas. ARDTN (1971) sugere que concentrações de B-caroteno indicam injúria da planta proveniente de SO₂, HF e HCL.

Em Curitiba (estado do Paraná) foram analisados o teor de pigmentos nas espécies *Tabebuia alba* e *Pittosporum undulatum* crescendo em uma área urbana no centro da cidade e em área mais afastada. Identificaram que nos locais mais poluídos as concentrações de clorofila total foram maiores que em locais menos poluídos e, que o conteúdo de carotenos foi significativamente reduzido nos mesmos locais. Foi observado para *Tabebuia chrysotricha* uma redução de 50% da taxa fotossintética em locais mais urbanizados. Espécies como *Ligustrum lucidum* expostas em locais com qualidade do ar mais poluídos, apresentaram uma redução da taxa fotossintética, expansão da área foliar e aumento dos níveis de ferro quando comparadas com as plantas analisadas em uma área da periferia, este resultados foram atribuídos ao tráfego de automóveis (KOZIOL & WHATEY, 1984). Pignata *et. all.* (1997) identificou uma redução dos níveis de clorofila b e dos níveis de clorofila a + b em árvores localizadas em áreas mais poluídas industrialmente.

As reduções em gs, E, e A ocorreram nas menores distâncias da fonte emissora, especialmente a 200 metros. As plantas que acumularam maiores quantidades de ferro foliar parecem ter sofrido danos nos seus estômatos. Em *S. terebinthifolius* este fato pôde ser constatado pela diminuição de A, gs e E (fotossíntese, condutância estomática e transpiração respectivamente). Em *S. terebinthifolius*, a diminuição de A, gs e E nas plantas com maior teor de ferro (200 e 500 m) refletiram em aumento em produtividade – peso seco (A). Neste caso, a capacidade dos movimentos de fechamento e abertura dos estômatos parece ter sido

afetada. Robinson *et al.* (1998) relataram várias alterações estomáticas provocadas por poluentes aéreos, reforçando a dificuldade em generalizar sobre a natureza das alterações fisiológicas devido às variações nas respostas entre as plantas.

S. terebinthifolius absorveu mais o sulfato do que *M. coriaceae*, acumulando no material vegetal nas plantas localizadas nas estações a 200, 500 e 800 metros. Valores de absorção de enxofre foram superior ao encontrado por Klumpp *et al.* (1994) quando expuseram plantas de *Psidium guajava* e *P. cattleyanum* a vários sítios do complexo industrial de Cubatão. Os dados obtidos indicam que ambas as espécies poderiam ser empregadas como bioindicadora de reação, pois apresentaram, em proporções diferenciadas, danos relativos à poluição.

O SO₂ é absorvido pelas plantas principalmente pelo fluxo difusivo através dos estômatos, promovendo respostas variadas dependendo das espécies e das condições ambientes. Desta forma, pode ocorrer fechamento, abertura ou nenhuma reação dos estômatos (RENNENBERG e HERSCHBACH, 1996). Entretanto, as plantas também absorvem o enxofre pelas raízes por um processo ativo controlado pelo metabolismo vegetal. Assim, evitar o influxo de SO₂, pelo fechamento estomático, implica também em redução na fotossíntese e, conseqüentemente, no crescimento (RENNENBERG *et al.* 1996).

Em geral, dados na literatura demonstram que espécies com altos valores de condutância estomática são mais ou menos tolerante ao SO₂. (WINNER e MOONEY, 1980; PANDE e MANSFIELD, 1985; REICH e AMUNDSON, 1985). São diferenciadas as respostas estomáticas com relação à exposição ao dióxido de enxofre em curto período em diferentes plantas com relação a sua sensibilidade. Nas espécies *Vicia faba* e *Zea mais* (BLACK e BLACK, 1979) comprovaram aumento da condutância expostos a <200 ppb de SO₂. O aumento da transpiração e decréscimo na condutância foram observados nas espécies *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max*, *Betula pendula* expostas a 200-700 ppb SO₂ (MCLAUGHLIN *et. al*, 1979; BIGGS & DAVIES, 1980; CARLSON, 1983) e o aumento ou decréscimo da transpiração forma detectados nas espécies *Helianthus annuus*, *Diplacus aurantiacus* e mesmo o *Phaseolus vulgaris* (USHIJIMA e TAZAKI, 1977; MCLAUGHLIN *et. al*, 1979), no entanto *Pisum sativum*, *Hordeum vulgare* não apresentaram variações com relação a condutância (RAO *et. al*, 1983; ASHMORE e ONAL, 1984).

Plantas de *Ulmus americana*, *Vicia faba* expostas a >700 ppb de SO₂ apresentaram aumento da condutância enquanto que o inverso foi detectado para *Phaseolus vulgaris*, *Gycine max* cuja resposta foi o decréscimo da condutância e decréscimo da transpiração em *Oryza sativa* e *Betula lutes* dentre outras espécies (MAJERNIK E MANSFIELD, 1971; NOLAND & KOZLOWISK, 1979, CARLSON, 1983; MATSUOKA, 1978, DARRAL, 1989). O fechamento dos estômatos ocorre simultaneamente associado com a inibição da fotossíntese.

Em contraste, durante um longo tempo de exposição ao SO₂, são reportados aumento da condutância estomática ou transpiração. Estas respostas variam em função da sensibilidade diferenciada de cada espécie ao SO₂.

A dificuldade de determinação do agente causador do impacto deve-se muitas vezes a misturas de partículas, formadas muitas vezes por sulfatos, nitratos, chumbo e halogênios, metais leves e pesados. As partículas de minério de ferro podem, ou não, aderir ao aerossol marinho do local e que se encontra suspenso no ar. Este fator pode determinar se a deposição particulada precipita nas imediações da Usina ou se a dispersão se estende por quilômetros para o interior (VEREIN Deutsche Ingenieure-VDI-RdL. 1983). Esta distância dependerá também da temperatura do ar, da altura da chaminé, da frequência, da intensidade e velocidade do vento e da presença de água em suspensão (aerossol marinho, por exemplo) (GRANTZ *et al.*, 2003).

A deposição particulada sobre as folhas produz graves alterações na transpiração, na fotossíntese, no balanço térmico da folha e, dependendo da natureza da partícula (ex. SO₄²⁻) nas reações químicas que injuriam as folhas. Por outro lado, as árvores apresentam-se como excelentes filtros contra a dispersão das partículas. Parte delas deposita-se nas folhas das árvores podendo ser absorvida e metabolizada e outra parte pode ser lixiviada e depositada no solo. A chuva proporciona uma “regeneração” da superfície seqüestradora de partículas. (STEUBING, 1985).

Schinus terebinthifolius é uma espécie dióica, característica dos estádios pioneiros de restinga (FLEIG e KLEIN, 1989) e uma bioindicadora dos ambientes notadamente edáficos (LENZI e ORTH, 2004, prelo). De maneira, que sua alta plasticidade ecológica e interação biótica lhe permite colonizar e ocupar ambientes profundamente alterados pelo homem (CARVALHO, 1994).

Lenzi & Orth (2004, prelo) descrevem as flores de *S. terebinthifolius* como pequenas (<5 mm), abundantes e reunidas em panículas racemosas, sendo as

inflorescências masculinas sempre maiores e com um maior número de flores. A sua ântese ocorre sempre pela manhã e a flor masculina possui duração de apenas um dia, enquanto que a feminina permanece receptiva por um período de até dois dias. As flores de *S. terebinthifolius* são melíferas, caracterizadas como generalistas, quanto à diversidade de insetos visitantes florais (CARVALHO, 1994; EWEL *et al.*, 1982). No entanto estes visitantes possuem importante papel na biologia reprodutiva desta espécie (ROSA, 2000; COSTA & RAMALHO, 2001; SILVA, SOUZA, LENZI & ORTH, 2004, prelo), na restinga são mais comuns pela manhã, quando a temperatura e velocidade do vento são menores, pois estes dificultam a atividade das abelhas (GOTTSBERGER *et al.*, 1988). A pesar de não ter sido observado um aumento da diferença da temperatura da folha-ar em *S. terebinthifolius* na área exposta, a deposição de material particulado na planta, promovendo um aumento da temperatura conciliada com alta velocidade do vento pode influenciar na polinização das mesmas, dificultando a ação das abelhas, além de danos que podem ser provocados pela aderência das nano partículas de ferro ao pólen melífero.

Um dos efeitos mais marcantes da deposição do ferro particulado nas folhas parece ser o aquecimento foliar, provocado pela obstrução dos estômatos, como observado em maior ou menor grau nas plantas avaliadas neste experimento. A obstrução dos estômatos diminui e/ou bloqueia um dos principais mecanismos de dissipação térmica da folha, a transpiração, influenciando diretamente a temperatura foliar e indiretamente uma série de processos fisiológicos e metabólicos na folha. *S. terebinthifolius* não apresentou aumento expressivo na t_{foliar} (°C) expostas, enquanto que, *M. coriaceae* apresentou um aumento de Δt (°C) nas plantas localizadas na área de exposição. Silva (2003) constatou que Δt (°C) de plantas das espécies *Cordia verbenacea* e *Psidium guineense* expostas a emissões particuladas aumentou, enquanto que em *Byrsonima sericea* não houve efeito significativo. Lopes *et al.* (2000) encontraram aumento de Δt (°C) em *Sophora tomentosa* apenas nas plantas localizadas mais próximas da usina, enquanto que em *Rhedia brasiliensis* e em Myrtaceae, Δt (°C) aumentou nas plantas localizadas a até 800 m da fonte emissora. Segundo Larcher (1995) o aumento t_{foliar} (°C) provoca mudança na solubilidade dos gases, modifica as propriedades das membranas celulares, aumentando sua fluidez e alterando sua permeabilidade, diminui o metabolismo celular, modifica a atividade enzimática, provoca desnaturação de proteínas e afeta a estrutura química de macromoléculas como o DNA.

M. coriaceae foi à espécie que apresentou menor teor de ferro com relação a análise anatômica e bioquímica. A reação histoquímica mostrou que, neste caso, o metal ficou limitado em sua maior parte às estruturas superficiais da folha. As folhas glabras, sua disposição na planta, a espessa cutícula localizada nas duas faces laminar e a presença de estômatos em depressão apenas na face abaxial constituíram uma barreira à entrada de quantidade excessiva de ferro, protegendo os tecidos foliares. Na epiderme adaxial, a proteção dos tecidos pôde estar relacionada à presença de cutícula espessa, ausência de tricomas, que podem funcionar como rota alternativa a entrada de poluentes e uma camada de hipoderme. É provável que esta estrutura anatômica tenha formado uma barreira junto à epiderme, impedindo a penetração do ferro metálico para o mesofilo, já que, pelos dados da quantificação de ferro, verificou-se estágio intermediário de acúmulo de ferro. Silva (2003) observou estas mesmas características de estruturas anatômicas funcionando como barreira para entrada do ferro metálico para *B. sericea* (presença de cutícula) e *P. guineense*, (presença de duas a três camadas de hipoderme).

Varshney e Garg (1980) observaram em área exposta a emissões de particulado e ao SO₂ uma considerável redução da área foliar, da biomassa da folha e total da planta e do conteúdo de clorofila em plantas contendo folha com superfície pilosa ou rugosa quando comparadas às plantas com folhas glabras/lisas.

A estrutura anatômica de *S. terebinthifolius*, como as reentrâncias nas células epidérmicas das bases dos pêlos glandulares e unisseriados, parecem ter proporcionado maior retenção de ferro particulado em suas folhas, em comparação com a outra espécie estudada neste trabalho. Estudos têm mostrado que as bases dos pêlos são regiões permeáveis à entrada de poluentes (EVANS *et. al*, 1977; AZEVEDO, 1995; CHAVES, 1997). Os estômatos parecem ser uma das vias de entrada do ferro particulado. As folhas desta espécie apresentam-se afistomáticas. *S. terebinthifolius* também possui estruturas que dificultam a entrada do ferro como: hipoderme e espessa cutícula, no entanto, não são suficientes para impedir a entrada deste na planta, aparecendo circulando dentro do xilema, sendo translocado por toda planta. Estas estruturas anatômicas foram encontradas em *C. verbenacea* (SILVA, 2003) e possibilitaram a esta espécie maior absorção do ferro particulado principalmente devido à presença dos pêlos glandulares e reentrâncias na epiderme. O mesmo resultado também foi constatado por Caiazza *et. al* (1980) nas espécies *Arenaria patulata* e *Lonicera japonica* expostas a um gradiente de poluição, que

apresentaram mudanças na sua morfologia foliar em função deste gradiente, tais como, diminuição da densidade estomatal, aumento da densidade de tricomas, indicando a plasticidade fenotípicas das espécies observadas. Estas diferenças adaptativas na morfologia foliar em função de fatores ambientais são observadas em muitas espécies e em diferentes habitats ou em diferentes estações/sazonal (GARG *et al.*, 1980).

O dióxido de enxofre pode interagir diretamente nas folhas através de dois caminhos: (1) deposição seca pela cutícula (HOSKER e LINDBERG, 1982) e difusão através dos estômatos (BLACK, 1985). No entanto a primeira via de entrada do SO_2 é pelos estômatos, pois a cutícula acaba funcionando como proteção a entrada deste. No entanto, como exposição crônica desta ao SO_2 , pode ocorrer a erosão cuticular, aumentando a absorção do gás pelas folhas por esta via (HUTTUNEN, 1994).

Uma vez que o SO_2 entra em contato com a alta umidade da cavidade estomática e encontra um filme de água na superfície das células do mesofilo, ele é rapidamente convertido em HSO_3^* (Bisulfito, um radical livre) e/ou SO_3 (Sulfito). Esta conversão ocorre em pH alcalino e ambos, são tóxicos aos processos metabólicos da planta particularmente em altas concentrações. Segundo Dekok (1990) as concentrações intracelulares de HSO_3^* e SO_3 , são extremamente baixas em ambientes livres de SO_2 , onde estes íons são rapidamente oxidados a SO_4^{2-} . Em ambientes com altas concentrações de SO_2 são elevados os teores de HSO_3^* e SO_3 causando serias disfunções no metabolismo celular das plantas, causando danos nos cloroplastos, alterando a peroxidação de lipídeos e a destruição de clorofilas principalmente devido a alterações enzimáticas e presença de radicais livres (DEKOK, 1990; RENNENBERG e POLLE, 1994). Danos aos cloroplastos podem resultar em redução das taxas fotossintéticas.

Exposição num curto tempo à altas concentrações de SO_2 pode proporcionar a morte celular, exposição de baixa a moderada concentração de SO_2 por um médio a longo tempo pode resultar no impacto ao metabolismo celular, um acúmulo de SO_4^{2-} no vacúolo central do tecido foliar e na redução da taxa fotossintética (ECKERT e HOUSTON, 1980; AMUNDSON, 1986). Muitas plantas são capazes de remitir para o ambiente o excesso de enxofre na forma de H_2S (WILSON *et. al.*, 1978; WINNER *et. al.*, 1981; FILNER *et. al.* 1984; KROUSE *et. al.* 1984; ERNESt e PETERSON, 1994).

Sintomas de injúrias foliares provenientes de exposição excessiva ao SO₂ são classificados como agudas ou crônicas. A injúria foliar aguda é resultante da exposição da vegetação a altas concentrações de SO₂, usualmente por durações curtas de tempo e é causada quando o conteúdo de SO₂ absorvido pela planta é suficiente para causar a morte celular, em parte, ou em todo tecido da planta. A injúria crônica é resultante da exposição a doses subletais de SO₂ por um extenso período, suficiente para impedir processos celulares, mas não causando morte. Em algumas vezes a injúria crônica pode ser seguida da aguda.

Injúria aguda caracteriza-se pela ocorrência de necroses irregulares, ou seja, presença de pigmentos escuro-amarronzados marginais e internervais circundados por uma clorose marginal ao longo de toda necrose. A injúria foliar crônica caracteriza-se por cloroses internervais.

5 – Conclusões

Durante o período analisado a usina de pelotização contribuiu para o aumento do nível de material particulado e de dióxido de enxofre na atmosfera, algumas vezes, ultrapassando o padrão secundário admitido pela resolução nº 3 do Conselho Nacional de Meio Ambiente de 1990 (CONAMA), o mesmo não ocorreu para o dióxido de enxofre. Os teores de ferro e enxofre encontrados no material vegetal confirmaram que tais poluentes foram absorvidos pelas plantas em intensidades variáveis dependendo de fatores inerentes às plantas, do local e climático;

Nas duas espécies, os teores totais de ferro na folha foram maiores na estação mais próxima da fonte emissora, diminuindo na medida em que se afastava da fonte emissora;

S. terebinthifolius apresentou maior teor de sulfato no material vegetal, do que *M. coriacea*, em especial nas plantas mais próximas da fonte emissora. O número de folhas e área foliar em *S. terebinthifolius* aumentou com o tempo de exposição, enquanto que em *M. coriacea* ele se manteve essencialmente constante.

O número e a percentagem de folhas necróticas, assim como os índices de fitotoxicidade foliar de necroses aumentaram na medida em que aumentou o tempo de exposição ao ferro particulado e ao SO₂ e foram mais intensas nas plantas expostas na área industrial;

Os parâmetros clorofila a, b e carotenóides não demonstraram grandes alterações em função do tempo de exposição e distância, no entanto plantas a 800m da fonte emissora foram mais afetadas apresentando menos clorofila no final do período de exposição;

Em *M. coriacea* e *S. terebinthifolius* observou-se efeito das deposições sobre as variáveis gs, E e Δt (°C) nas plantas mais próximas da fonte emissora. A fluorescência não foi um indicador do estresse monitorado, não apresentando alterações significativas, a não ser durante o mês de agosto. A taxa de A apresentou

maiores valores para *M. coriacea* nas distâncias 200, 800 e 1400m e para *S. terebinthifolius* a 800m de distância da fonte emissora onde também houve um acréscimo da transpiração e da condutância estomática;

Nas duas espécies, entretanto, observou-se redução na produção de matéria seca total das plantas nas diferentes estações analisadas, porém no experimento II foi observado um acréscimo desta ao longo do período de exposição, mais intenso nas plantas presentes na área do pátio;

S. terebinthifolius apresentou uma redução no número flores e frutos e aumento do número de folhas na área exposta e ao longo do período de oito meses de exposição. As deposições podem ter afetado a reprodução sexuada desta espécie.

S. terebinthifolius apresentou um maior acúmulo de ferro que *M. coriacea*, provavelmente por causa do maior número de reentrâncias nas bases dos tricomas glandulares e unisseriados e estômatos em depressão. A detecção histoquímica mostrou diferenças específicas para a deposição de ferro metálico, provavelmente relacionado com a estrutura morfológicas, disposição e textura foliar e anatômica, como os pêlos, hipoderme e presença de cutícula.

6 – Bibliografia

- ALWAYS, G.N. 1940. **A nutrient element slighted in agricultural research.** *J. Amer. Soc. Agron.*32:913-921.
- AMORIM, M. M. R. de; SANTOS, L. C. 2003. **Tratamento da vaginose bacteriana com gel vaginal de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi): ensaio clínico randomizado.** *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*, v. 25, n. 2, p. 95-102.
- AMUNDSON, R.G., WAKER, R.B., AND LEGGE, A.H. 1986. **Sulphur gas emissions in the boreal forest: the West Whitecourt case study VII: Pine tree physiology.** *Water, Air, Soil Pollut.* 29:129-147.
- ARNDT, U. 1971. **Konzentrationsänderungen bei Blattfarbstoffen unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen, Ein Diskussionsbeitrag zur Pigmentanalyse.** *Environmental Pollution*, 2, 37-48.
- ARNDT, U., FLORES, F., WEINSTEIN, L. 1995. **Efeitos do flúor sobre as plantas: diagnose de danos na vegetação do Brasil.** Porto Alegre: UFRGS, 155p.
- ARNDT, U.; SCHLUTLER, C. 1985. **Wirkungsberzogene erfassung der immisionsbelastung bestimmter waldschadensgebiete in baden-württemberg durch den einsatz von bioindikatoren (aktives monitoring von indikatorpflanzen).** *Statuskoll. z. Arbeit des PEF, Karlsruhe* 5.bis 7.3, p. 17-41.
- ARNOM, D. I. 1949. **Copper enzymes in isolated chloroplasts.** *Plant physiology*, 24:1-15.
- ASHMORE, M.R. & ONAL, M. 1984. **Modification by sulphur dioxide of the response of *Hordeum vulgare* to ozone.** *Environmental Pollution (Series A)*. 36, 31-43.
- AZEVEDO, A. A. 1995. **Ação do flúor, em chuva simulada, sobre a estrutura foliar de *Glycine max* (L.) Merrill.** São Paulo, SP: USP, 1995. 95 p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade de São Paulo.
- BAIRD, C. 2002. **Química Ambiental.** 2 ed.. Porto Alegre: Bookman, 622p.
- BANCROFT, J.D., STEVENS, A., TURNER, D.R. 1996. **Theory and practice of histological techniques.** New York: Churchill Livingstone, 4nd ed., 776 p.

- BECANA, M.; Moran, J.F.; Inturbe-Ormaetxe, I. 1998. **Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection.** *Plant and Soil* 201: 137-147.
- BIGGS, A.R. & DAVIES, D.D. 1980. **Stomatal response of three birch species exposed to varying acute doses of SO₂.** *Journal of American Society for Horticultural Science*, 105, 514-516.
- BLACK, C.R. & BLACK, V.J. 1979. **The effects of low concentrations of sulphur dioxide on stomatal conductance and epidermal cell survival in field bean (*Vicia faba L.*).** *Journal of Experimental Botany*. 30,291-298.
- BLACK,V. 1985. **SO₂ effects on stomatal behavior.** In *Sulfur Dioxide and Vegetation:Physiology, Ecology and Policy Issues*,eds. E.E. Winner, H.A. Mooney, and R.A. Goldstein. Stanford University Press, Stanford, CA, pp.96-117.
- CAIAZA, N.A.Jr.;QUINN, J.A.1980. **Leaf morphology in *Arenaria patuta* and *Lonicera japonica* along a pollution gradiente.** *Torrey Botanical Club*. Vol. 107 n° 1 pp 9-18.
- CARLSON, R.W. 1983. **The effect of SO₂ on photosynthesis and leaf resistance at varying concentrations of CO₂.** *Environmental Pollution (Series A)* 30, 309-321.
- CARVALHO, P. E. R. 1994. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.* Brasília: EMBRAPA - SPI, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 640 pp.
- CETESB, 1986. **Determinação de poeira sedimentada – método de ensaio.** Norma L8. 014.
- COSTA, J. A. S. & M. RAMALHO. 2001. *Ecologia da polinização em ambiente de duna tropical (APA do Abaeté, Salvador, Bahia, Brasil).* *Sitientibus Série Ciências Biológicas*, 1 (2): 141-153.
- CHAMBERLAIN, A.C. 1975. **The movement of particles in plant communities.** *Vegetation and the Atmosphere* (Ed. J.L. Monteith), Vol. 1, pp.155-203. Academic Press, London.
- CHAVES, A. L. F. 1997. **Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre e estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (colonião) e *Chloris gayana*Kunth. (capim-Rhodes) – Poaceae.** Viçosa, MG: UFV, 79 p.

- DARRAL, N.M. 1989. **The effect of air pollutants on physiological processes in plants.** *Plant, cell and Environment*. 12, 1-30 .
- DEKOK, L.J. 1990. **Sulfur metabolism in plants exposed to atmospheric sulphur.** In *Sulfur, Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants: Fundamental Environmental and Agricultural Aspects*. Eds. H. Rottenberg, C. Brunold, L.J. Dekok, and I. Stulen. SPB Academic Publishing bv., The Hague, The Netherlands, pp.111-130.
- DIVAN JÚNIOR, A.M. 2002. **Impacto das emissões de fluoreto em Ouro Preto, MG, avaliados mediante bioindicadores vegetais ativos e passivos.** Viçosa, MG: UFV, 81p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade.
- DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. 2000. **Rice: nutrient disorders & nutrient management.** Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute. p. 1-4.
- DOMINGOS, M.; KLUMPP, A. & KLUMPP, G. 2000. **Effects of air pollution and soil contamination on the Atlantic Forest (Mata Atlântica) in the vicinity of the industrial complex of Cubatão (SE – Brasil).** In: 1. Symposium der A. F. W. Schimper – Stiftung. Stuttgart, Verlag Günter Heimbach, p.397-402
- ECKERT, R.T. AND HOUSTON, D.B. 1980. **Photosynthesis and needle elongation response of *Pinus strobus* clones to low level sulfur dioxide exposures.** *Can. J. For. Res.* 10:357-361.
- ELLENBERG, H., ARNDT, U., BRETTHAUER, R., RUTHSATZ, B., STEUBING, L. 1991. **Biological monitoring: signals from the environment.** Berlin: Vieweg, 318p.
- ERNST, W.H.O. AND PETERSON, P.J. 1994. **The role of biomarkers in environmental assessment.** (4). Terrestrial plants. *Ecotoxicology* 3: 180-192.
- EVANS, L. S., GMUR, N. F., COSTA, F. 1977. **Leaf surface and histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain.** *American Journal of Botany*, v.64, n.7, p.903-913.
- EWEL, J. J.; OJIMA, D. S.; KARL, D. A. & DEBUSK, W. F. 1982. *Schinus* insuccessional ecosystems of Everglades National Park. National Park Service, South Florida Research Center, Everglades National Park, Homestead, USA, 141 pp.

- FAGERIA N K., RABELO N A. 1987. **Tolerance of rice cultivars to iron toxicity.** Journal of Plant Nutrition, 10: 653-661.
- FALLER, N. 1971. **Plant nutrient sulphur SO₂ vs. SO₄.** Sulphur Inst. J. 7:5-6.
- FEEMA. 1983. **Manual do Meio Ambiente – Métodos Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) – MF 609 Método do jarro de deposição de poeira (deposição de partículas sedimentáveis).** Rio de Janeiro, Dicom, vol.2. 124 – 126.
- FERRY, B. W., BADDELEY, M.S. & HAWKSWORTH, D.L. 1973. *Air pollution and lichens.* The Athene Press of the University of London, London.
- FIGUEIREDO, J.G. 1994. **Avaliação de gramíneas tropicais como bioindicadoras da presença de flúor.** Viçosa:UFV, 1994, 87p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa.
- FILNER, P.; RENNENBERG, H.; SEKIYA,J.; BRESSAN, R.A.; WILSON, L.G.; CUREUX,L.Le.; AND SHIMEI, T.1984. **Biosynthesis and emission of hydrogen sulfide by higher plants.** In Gaseous Air Polutants and Plant Metabolism, eds. M.J. Koziol and F.R. Whatley. Butterworths, Boston, MA, pp.291-312.
- FLEIG, M.; KLEIN R. M. 1989. **Anacardiáceas.** Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí-SC: 64p.
- FREID, M. 1948. **The absorption of sulfur dioxide by plants as shown by use of radioactive sulfur.** Soil Sci. Soc. Amer. Pronc. 13:135-138.
- FOURCROY, P. 1999. **Iron and oxidative stress in plants.** In: SMALLWOOD, M. F., CALVERT, C.M., BOWLES, D.J. (Eds.). Plant Responses to Environmental Stress. Oxford: BIOS Scientific Publishers Limited, p. 51-57.
- GALLEGO, S.M., BENAVIDES, M.P., TOMARO, M.L. 1996.**Effect of heavy metal in excess on sunflower leaves: evidence for involvement of oxidative stress.** Plant Science, 121: 151-159.
- GARG, K.K.; VARSHNEY, C.K. 1980. **Effect of air pollution on the leaf epidermis at the submicroscopic level.** School of Environmental Science, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India. Experientia 36. Birkhauser Verlag. Basel (Schweiz).
- GILBERT, O.L.1976. **The construction, interpretation and use of lichen air pollution**

- GOTTSBERGER, G.; J. M. F. CAMARGO & I. SILBERBAUER-GOTTSBERGER. 1988. A bee-pollinated tropical community: the beach vegetation of Ilha de São Luís, Maranhão, Brazil. *Botan. Jahrb. System.* 109 (4): 469-500.
- maps, in:** KARENLAMPI, L. ed. Proceeding of the Kuopio, p.83-92
- GRANTZ, D.A., GARNER, J.H.B., JOHNSON, D.W. 2003. **Ecological effects of particulate matter.** *Environment International*, v. 29, n. 1, p.213-239.
- GUDERIAN, R.1977. **Air Pollution. Phytotoxicity of Acidic Gases and its Significance in Air Pollution Control.** *Ecological studies* 22. Springer-Verlag, New York, 127pp.
- GUERINOT, M.L., YI, Y. 1994. **Iron: Nutritious, noxious, and not readily available.** *PlantPhysiology*, v. 104, n.1, p. 815-820
- GUERRA, M^a. J. M.; BARREIRO, M. L.; RODRIGUEZ, Z. M.; RUBALCADA, Y. 2000. **Actividad antimicrobiana de un extracto fluido al 80% de *Schinus terebinthifolius* Raddi.** *Inst. Superior de Ciencias Médicas de La Habana.* *Revista Cubana Plant. Med.*, v. 5, n. 1, p. 5- 23.
- HORSMAN,D.C.; AND WELLBURN, A. R.1976.**Guide to the metabolic and biochemical effects of air pollutants on higher plants.** In *effects of Air Pollutants on Plants*, (Ed. T. A. MANSFIELD), pp. 185-199. Cambridge University Press, Cambridge.
- HOSKER, R.P.AND LINDBERG, S.E. 1982. **Review: Atmospheric deposition and plant assimilation of gases and particles.** *Atms. Environ.* 16:889-910.
- HUCKABEE, J.W. 1973.**Mosses: sensitive indicators of airborne mercury pollution.** *Atmospheric Environment.*, 7:749-754.
- HUTTNER,S. 1994. **Effects of air pollutants on epicuticular wax structure.** In *Air Pollutants and the Leaf Cuticle*, eds. K.E. Percy, J.N. Cape, R. Jagels, and C.J. Simpson. Springer Verlag, Berlin, pp.83-96.
- HUTTUNEN,S; AND LAINE, K.1983. **Effects of air-borne pollutants on the surface wax structure of *Pinus* needles.** *Ann, Bot. Fennici* 20:79-86.
- KARNONSKY, M.J. 1965.**A formaldehyde – glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy.** *Journal of Cellular Biology*, v. 27, n. 1, p. 27-137 A.
- KAZION, M.J.; WHATLEY,F.R.1984. **Biochemical diagnostic test for the effect of air pollution on plants.** *Butterworths.*335-349.

- KLUMPP, A.; KLUMPP, G.; DOMINGOS, M. 1994. Plants as bioindicators of air pollution at the serra do mar near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Environmental Pollution* 85: 109-116.
- KLUMPP, A., DOMINGOS, M., MORAES, R.M., KLUMPP, G. 1998. **Effects of complex air pollution on tree species of the Atlantic rain forest near Cubatão, Brazil.** *Chemosphere*, v.36, n.4, p.989-994.
- KOZIOL, M.J. & WHITLEY, F.R. 1984. **Biochemical diagnostic test for the effect of air pollution on plants.** Butterworths.335-349.
- KOZLOWSKI, T.T. 1980. **Impacts of air pollution on forest ecosystems.** *BioScience*, v.30, n.1, p.89-93.
- KOZLOWSKI, T.T., PALLARDY, S.G. (Eds.) 1997. **Growth control in woody plants.** London: Academic Press, 641 p.
- KOZLOWSKI, T.T. 1997. **Growth control in wood plants. Environmental Regulation of Vegetative Growth – Pollution.** Acad Press. Limited. 278-299.
- KROUSE, H.R., LEGGE, A.H., AND BROWN, H.M. 1984. **Sulphur gas emissions in the boreal forest: The West Whitecourt Case Study V: Stable Sulphur isotopes.** *Water, Air, Soil Pollut.* 22:321-347.
- LARCHER, W. 1995. **Physiological Plant Ecology.** Germany: Springer, 3 ed., 506 p.
- LAURENCE, J.A.; REYNOLDS, K.L.; GREITNER, C.S. 1985. **Bioindicators of SO₂: Response of three plant species to variation in dosage-kinetics of SO₂.** *Environmental Pollution*, 37(serie A):43-52.
- LENZI, M. & A. I. ORTH. 2004 (prelo). Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), em restinga da Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revta Biotemas*, 17 (2): 67-89.
- LENZI, M. , ORTH, A.I. 2004. **Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), em Florianópolis-SC, Brasil.** *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 26, n. 2, p. 198-201.
- LEVY, D.B.; REDENTE, E.F.; AND UPHOFF, G.D. 1999. **Evaluating the phytotoxicity of Pb- Zn tailings to big bluestem (*Andropogon gerardii* Vitman) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.).** *Soil Sei.* 164 (6), 363-375.
- LINZON, S.N. 1978. **Effects of airborne sulphur pollutants on plants.** In *Sulphur in the Environment, Part II: Ecological Impacts*, ed. J.O.Nriagu. John Wiley & Sons, New York, 482pp.

- LINZON, S.N. 1969. **Symptomatology of sulphur- dioxide injury on vegetation.** In Handbook of Effects, Assessment, Vegetation Damage: Section VIII, eds. N. Lacasse and W. Moroz. Pennsylvania State University, University Park, PA, 183 pp.
- LOPES, M.I. M-S; VUONO, Y.S de.1984. **Poluição Atmosférica e elementos tóxicos na reserva biológica do instituto de botânica, São Paulo, Brasil.** Revista Brasil. Botânica. 7(2): 149-156.
- LOPES, S.A., OLIVA, M.A., Martinez, C.A.2000. **Impacto das imissões de dióxido de enxofre e deposição de material particulado de ferro em espécies vegetais de restinga: avaliação ecofisiológica.** In: Espíndola E., Paschoal, C., Rocha, O., BOHRER, M., OLIVEIRA NETO, A. (eds.): **Ecotoxicologia. RIMA Artes e Textos**, São Carlos, pp. 53-71.
- MACLEAN, D.C., SCHNEIDER, R.E., HANSEN, K.S., TROIANO, J.J. 1989. **Effects of simulated acid rain on uptake, accumulation, and retention of fluoride in forage crops.** Water, Air, and Soil Pollution, v. 43, n. 1, p. 191-198.
- MAJERNIK, O. & MANSFIELD, T.A. 1971. **Effects of SO₂ pollution on stomatal movement in *Vicia faba*.** Phytopathologische Zeitschrift. 71,123-128.
- MARSCHNER, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed., California: Academic Press, California, 889 p.
- MARTINS, S.V; REIS, M.G.F.; SOUZA,^aL.; ASPIAZU, C.; REIS, G.G. 1992. **Classificação ecológica do Estado do Espírito Santo baseada nas condições climáticas.** Revista Árvore, Viçosa, 16(3): 272-286.
- MATHIS, P.M. 1974. **The effect of sulfur dioxide on lichens: a field activity.** *Am Biol. Teacher*, 36:418-419,422.
- MATSUOKA, Y. 1978. **Experimental studies of sulphur dioxide injury on rice plant and its mechanism.** Special Bulletin of the Chiba-ken Agricultural Experimental Station. Number 7,1-63.
- MCLAUGHLIN, S.B.; SHRINER, D.S.; MCCONATHY, R.K. & MANM, L.K. 1979. **The effects of SO₂ dosage Kinatics and exposure frequeney on photosynthesis and transpiration of kidney beans (*Phaseolus vulgaris L.*).** Environmental and Experimental Botany, 19,179-191.
- MOMEN, B., HELMS, J.A. 1996. **Effects of simulated acid rain and ozone on foliar chemistry of field-grown seedlings and mature trees of *Pinus ponderosa*.** Environmental Pollution, 91:105-111.

- MUDD, J.B., KOZLOWSKI, T.T. (Eds.). 1975. **Responses of plants to air pollution**. New York: Academic Press, 383 p.
- MULLER, J. 1957. **Spezifischer Nachweis von SO₂. Rauchschaden an Pflanzen mit Hilfe von Blattpigmentanalysen**. *Naturwissenschaften* 44, 453.
- MURRAY, F. 1981. **Effects of fluorides on plant communities around an aluminium smelter**. *Environmental Pollution*, v.24, n.1, (Serie A), p.45-56.
- NASH, T.H. 1973. **III. Sensitivity of lichens to sulfur dioxide**. *Bryologist*, 76:333-39.
- NOLAND, T.L.& KOZLOWSKI, T.T. 1979. **Effects of SO₂ on stomatal aperture and sulphur uptake of woody angiosperm seedlings**. *Canadian Journal of Forestry Research*.9,57-62.
- OLIVARES, Elizabeth. 2003. **The effect of lead on the phytochemistry of *Tithonia diversifolia* exposed to roadside automotive pollution or grown in pots of Pb-supplemented soil**. *Braz.J. Plant. Physiol.*, 15: (3)149-158.
- OLIVEIRA, F.; GROTTA, A. S. **Contribuição ao estudo morfológico e anatômico de *Schinus terebinthifolius* Raddi Anacardiaceae**. *Revista de Farmácia Bioquímica, São Paulo*, v. 3, n. 2, p. 271-293, jul./dez. 1965.
- OTTAWAY, J.H. 1982. **Bioquímica da Poluição**. São Paulo: EDUSP, p. 33-35.
- PANDE, P.C. & MANSFIELD, T.A. 1985. **Responses of spring barley cultivars to SO₂ and NO₂ pollution**. *Environmental Pollution (Series A)*. 38,87-97.
- PIGNATA, M.L.; CANAS, M.S.; CARRERAS, H.A.; AND ORELLANA, L. 1997. **Exploring chemical variables in *Ligustrum lucidum* Ait. F. Tricolor (Rehd) Rehd**. In relation to air pollutants and environmental condition. *Environmental Management* vol. 21, No 5, pp. 793-801.
- PUGH, R.E.; DICK, D.G. and FREDEEN, A. L. 2002. **Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the anvil range lead/zinc mine, Faro, Yukon Territory**. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 52, 273-279.
- QUEIROZ, R.S. 1998. **Avaliação de rede de monitoramento ambiental de dióxido de enxofre e partículas em suspensão da Samarco Mineração**. Relatório, 22p.
- RAO, L. M.; AMUNDSON, R.G.; ALSCHER-HERMANN, R. & ANDERSON, L.E. (1983). **Effects of SO₂ on stomatal metabolism in *Pisum sativum* L.** *Plant Physiology*, 72, 573-577.

- REICH, P.B. & LASSOIE, J.P. 1985. **Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species** *Science*. 230, 566-570.
- RENNENBERG, H., HERSCHBACH, C. 1996. **Responses of plants to atmospheric sulphur**. In: YUNUS, M., IQBAL, M. (Eds.). *Plant response to air pollution*. Chichester: John Wiley, p. 285-293.
- RENNENBERG, H.; AND POLLE, A. 1994. **Metabolic consequences of atmospheric sulphur influx into plants**. In *Plant Responses to the Gaseous Environment*, eds. R.G. Alscher and A.R. Wellburn. Chapman and Hall, New York, pp. 165-180.
- RENNENBERG, H., HERSCHBACH, C.; POLLE, A. 1996. **Consequences of air pollution on shoot-root interactions**. *Journal of Plant Physiology*, v. 148, n. 1, p. 269-301.
- RESOLUÇÕES CONAMA 1984 a 1991. **Resolução CONAMA nº 003/90**. Brasília, 4.ed., p. 199-205.
- ROBINSON, M.F.; HEATH, J.; MANSFIELD, T.A. 1998. **Disturbances in stomatal behaviour caused by air pollutants**. *Journal of Experimental Botany*, v. 49, n. 1, p. 461-469.
- ROSA, L. 2000. *Ecologia da polinização de Butia capitata (Martius) Beccari Var. odorata (Palmae), no Sul do Brasil*, 100 pp. Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, Brasil.
- SEAWARD, M.R.D. 1974. **Some observations on heavy metal toxicity and tolerance in lichens**. *Lichenologist*, 6:158-164.
- SAMARCO. 1995 **Relatório de análise florística e fitossociológica da restinga de Anchieta, e medidas de controle e recuperação**. JPE Engenharia. Projeto Nº 12351. p. 42
- SAMARCO. 1995. **EIA/RIMA da Ampliação da Usina de Pelotização do Terminal de Ponta Ubu**. JPE Engenharia. p. 120.
- SILVA, L. C. 2003. **Avaliações Bioquímicas, fisiológicas e anatômicas dos efeitos de poluentes atmosféricos sobre espécies vegetais de restinga**. Viçosa, MG, 2003. 132 p. Dissertação (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa.
- SINHA, S.; GUPTA, M.; CHANDRA, P. 1997. **Stress induced by iron in *Hydrella verticillata*, (L. F.)Royale: response of antioxidants**. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 38: 286-291.

- STEUBING, L. 1985. Pflanzen als Bioindikatoren für Luftverunreinigungen. In: Chemie in unserer Zeit. Weinheim, BRD. VCH Verlagsgesellschaft, p. 42-47
- STEUBING, L.; FRANGMEIER, A. 1992. **Pflanzen ökologisches praktikum – Gelände und laborpraktikum der terrestrische pflanzenökologie.** Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 205 p.
- STREHL, T., ARNDT, U. 1989. **Alterações apresentadas por *Tillandsia aeranthos* e *T. recurvata* (Bromeliaceae) expostas ao HF e SO₂.** Iheringia, v.39, n.1, p.3-17.
- STRINGER, P.W & STRINGER, M.H.L. 1974. **Air pollution and the distribution of epiphytic lichens and bryophytes in Winnipeg, Manitoba.** *Bryologist*, 77:405-426.
- THOMAS, M.D. 1951. **Gas damage to plants.** *Ann. Rev. Plant Physiol.* 2:293-322.
- THOMAS, M.D.; HENDRICKS, R.H.; COLLIER, T.R.; AND HIL, G.R. (1943). **The utilization of sulphate and sulphur dioxide for the sulphur nutrition of alfalfa.** *Plant Physiol.* 18:345-371.
- TRESHOW, M. 1984. **Air pollution and plant life.** John Wiley and Sons Publish, pp 486.
- TROPPEMAYER, H. 1977. **Estudo biogeográfico de líquens como vegetais indicadores de poluição aérea da cidade de Campinas.** SP. Geografia, 2(4):1-38.
- USHIJIMA, T. & TAZAKI, T. 1977. **The influence of sulphur dioxide on the photosynthetic and transpiration rate in several higher plants.** Proceedings of the Fourth International Union of Air Pollution Prevention Association. Brighton, U.K.
- VANSUYT, G.; LOPEZ, F.; INZÉ, D.; BRIAT, J.F.; FOURCROY, P. 1997. **Iron triggers a rapid induction of ascorbate peroxidase gene expression in *Brassica napus*.** FEBS Letter 410 : 1195-200.
- VARSHNEY, C.K., GARG, K.K. 1980. **Significance of leaf surface characteristics in plant responses to air pollution.** School of Environmental Science, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India. *Water Air Pollut* 14 (0): 429-433.
- VARSHNEY, C.K. 1980. **Effect of air pollution on the leaf epidermis at the submicroscopic level.** School of Environmental Science, Jawaharlal Nehru

- University, New Delhi, India. *Experientia* 36. Birkhauser Verlag. Basel (Schweiz).
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1983. **Richtlinie 2309: Ermittlung von Maximalen Immissions-Werten -Grundlagen.**In:VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1. Duesseldorf, VDI-Verlag, p. 1-20.
- WILSON,L.G.; BRESSEN, R.A.; AND FILNER,P. 1978. **Light-dependent emission of hydrogen sulfide from from plants.** *Plant Physiol.*61:184-189.
- WINNER, W.E.; SMITH, E.; KOCH. G.W.; MOONEY, H.A.; BEWLEY, J.D.; AND KROUSE, H.R. 1981. **Rates of emission of H₂S from plants and patterns of stable isotope fractionation.** *Nature* 289: 672-673.
- WINNER. W.E. & MOONEY, H. A. 1980. **Ecology of SO₂ resistance: III. Metabolic changes of C₃ and C₄ Atriplex species due to SO₂ fumigation.** *Oecologia* (berlin).
- ZAFFARI, G.R. & OLIVA, M.A. 1989. **Alterações fisiológicas em *Phaseolus vulgaris* L.,cv Negrito-897 submetido a diferentes doses de dióxido de enxofre.** *Rev Bras Fisiol Vegetal*, 1(1):19-24.
- WONG, M.H.; CHAN, K.C.; CHOY, C.K. 1978 . **The effect of the iron ore tailing on the costal environment ot Tolo harbour , Hong Kong.** *Environmental Reaserch* 15: 342-356.