

ANÁLISE PRÁTICA DA RESISTÊNCIA DE MUDAS DE ÁRVORES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA MEDIANTE A EXPOSIÇÃO DE ELEVADOS NÍVEIS DE SO₂ E NO₂

Augusto Cesar Faria Salmória, Igor Ribas Jimenez Hernandez*, João Arnaldo Pereira Cruz, Paulo Henrique de Souza, Alunos do 3º ano do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio /Instituto Federal Catarinense - Campus Araquari.

Cleder Alexandre Somensi, Professor /Instituto Federal Catarinense - Campus Araquari

Claudemir Marcos Radetski, Renata Falck Storch Böhm, Professor e Doutoranda do curso Ciência e Tecnologia Ambiental/UNIVALI

* ribasigor1@gmail.com

PRACTICAL ANALYSIS OF NATIVE TREE RESISTANCE THROUGH EXPOSURE OF HIGH LEVELS OF SO₂ AND NO₂

Gases from vehicles constantly released into the atmosphere have a great influence on environmental quality. This work aimed to evaluate the sensitivity of five native plant species to the exposure to gases from a diesel vehicle. The fitotest method was used, which consisted of evaluating physiological parameters and tracing a relation of changes caused by the emission of SO₂ and NO₂ in tree seedlings. The experimental design was carried out with three treatments: plants without gas exposure (control greenhouse), plants cultivated with constant emission of gases, 8h day (greenhouse 2), and plants cultivated with 50% of the gas exposure (greenhouse 1). At the time of 30, 60, 90 and 120 days after the beginning of gas exposure, the following variables were analyzed: dry biomass (root, stem and leaflet) and foliar injury. The seedlings developed in greenhouse control and greenhouse 1 were more vigorous and with high biomass when compared to greenhouse 2. The emissions of SO₂ and NO₂ possibly reflected in the natural aging of the leaflets, since there was an increase of foliar injuries throughout the experiment. The analyzed plants indicated that the gases affected more the aerial part than the edaphic one.

Keywords: fitotest; emission of gases; diesel engine; sulfur dioxide and nitrogen dioxide.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um importante fator de vida, uma vez que afeta a saúde de seres humanos, animais e ao meio ambiente. Os compostos químicos que são lançados no ar pelo homem, ocasionam a poluição. Um exemplo de impacto causado pela poluição do ar é a formação da chuva ácida, que ocorre pela emissão de SO_2 que reage com o vapor da água, a chuva acidificada modifica as propriedades físico-químicas do solo, agredindo a vegetação ao redor e diretamente as plantações. Uma das ações que devem ser tomadas para evitar as chuvas ácidas diz respeito a redução do enxofre presente nos combustíveis.

Por conta disso é importante levantar informações sobre o assunto, pois, a saúde de todos os organismos está em risco pela falta de responsabilidade e compreensão do impacto que a poluição na atmosfera gera. O objetivo deste projeto foi avaliar a sensibilidade de algumas espécies vegetais nativas da Mata Atlântica, sendo elas a Araçá, Guabiroba, Aroeira, Cuvatã e Pau-Ferro, frente à exposição de gases oriundos de veículos a diesel, neste caso um Tobatta 14 CV, uma vez os vegetais, por estarem expostos a poluição, agem como bioindicadores.

Este estudo utilizou um esquema experimental de exposição das plantas, concomitantemente com a análise dos gases. Foram montadas 3 estufas, onde a estufa 1 recebia os gases duas vezes por dia, sendo 2 minutos por vez, a estufa 2 recebia quatro vezes por dia pelos mesmos 2 minutos e a estufa Controle que não foi exposta aos gases. Após a exposição de 120 dias aos gases de escapamento de um motor diesel, as plantas foram avaliadas em termos de crescimento da biomassa e injúrias foliares, analisou-se também se as mudas possuem resistência aos níveis de SO_2 e NO_2 . Para tal experimento utilizou-se o fitoteste, uma ferramenta que possui a função preditiva de um impacto ambiental e funciona também de forma avaliativa sobre os danos causados pelo ar contaminado.

Contexto histórico

A poluição atmosférica é uma situação que existe a muitos anos, tendo indícios de existirem na pré-história através dos gases liberados por incêndios (BRAGA, et al., 2001).

O problema começou ao aumentar pela atividade humana após ser utilizado o carvão betuminoso em escalas elevadas durante a Revolução Industrial (CARNEIRO, 2004, p. 2). Tal produto teve sua restrição em 1303 na Inglaterra, onde se publicou o decreto proibindo o seu uso (LISBOA, 2007). Após ser necessário analisar a poluição do ar causada pela fumaça do carvão e estudar o consumo do mesmo como combustível, foi fundado em 1890 a Smoke Abatement Society na Inglaterra, comissões alemães e franceses começaram a se originar apenas em 1894 (LISBOA, 2007).

Esses casos geralmente ocorrem em centros urbanos que apresentam desnivelamento social, onde há condições precárias de qualidade de vida, as quais são visíveis nos subgrupos sociais, já que eles são afetados por uma gama maior de doenças, em sua maioria degenerativa. “A industrialização é reconhecida como fator preponderante na degradação ambiental do planeta; degradação do solo, água e ar que ocorrem em escala exponencial a partir da revolução industrial”.

Como relatado por Forattini (1992), desde o final do século XX, a Ecologia e Epidemiologia aumentaram seus estudos sobre organismos vivos em determinados ambientes e a conservação da qualidade de vida e saúde. Tal ciência foi importante para a compreensão e prevenção das doenças oriundas de artrópodes e acentuada pela poluição ambiental, a qual teve um aumento graças a urbanização e maior concentração populacional.

Até a década de 1980 as indústrias eram as principais fontes de emissões de gases poluentes nas capitais brasileiras, após políticas que incentivaram a migração destas para o interior das cidades, os principais geradores da poluição do ar passaram a ser os veículos automotores (TOLEDO e NARDOCCI, 2011). Contudo, programas de controle de emissão, como o PROMOT, Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares, e o PROCONVE, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, no Brasil vem contribuindo para diminuir as emissões veiculares, o tema poluição atmosférico ainda necessita ser amplamente discutido e a pesquisa de novas metodologias de análise ampliadas.

Atualmente recomenda-se que a qualidade do ar de um país siga um padrão, que é indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), levando em consideração a heterogeneidade de cada local, eles devem ser balanceados principalmente de acordo com os riscos à saúde, viabilidade técnica e

disposição de capital. O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece na Resolução N°3/1990 (BRASIL, 1990) Primários de Qualidade do Ar (concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população) e Padrões Secundários de Qualidade do Ar (concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral) como estratégia de controle e forma de orientar a elaboração de Planos Regionais de Controle de Poluição do Ar.

Ciclos Biogeoquímicos

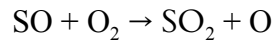
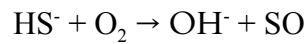
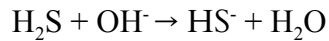
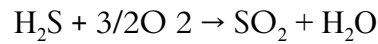
Ciclo do Enxofre

Existem compostos presentes na atmosfera contendo enxofre em sua estrutura, como o dióxido de enxofre (SO_2), trióxido de enxofre (SO_3), sulfeto de hidrogênio (H_2S). A maior fonte de emissão do enxofre e seus derivados é a queima de combustíveis fósseis, principalmente o carvão, sendo de origem antrópica. As indústrias acabam realizando a emissão de SO_2 e H_2S através do refinamento do petróleo e gás natural. De forma natural, o enxofre é emitido através de atividades vulcânicas e degradação biológica, o H_2S é bem presente nesses processos sendo altamente tóxico e caracterizado pelo odor forte. Seus compostos acabam circulando entre a atmosfera e litosfera do planeta, sempre tendo seus componentes sofrendo alguma reação química, como a oxidação do SO_2 para a formação do SO_3 , o mesmo ao entrar em contato com a umidade da origem ao ácido sulfúrico (H_2SO_4), um dos elementos responsáveis pela ação da chuva ácida (SCHIRMER, 2009).

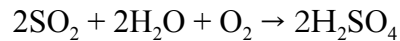
Na atmosfera, devido à grande incidência de raios solares, os efeitos fotoquímicos aumentam a reatividade de certas moléculas ou até fazem elas reagirem. Nela ocorrem diversas reações que influenciam a vida no nosso planeta e entre elas estão as que envolvem SO_2 e NO_2 .

A principal reação envolvendo SO_2 é a síntese de ácido sulfúrico. O enxofre chega até a atmosfera por meio da liberação tanto natural quanto antrópica, sendo a primeira proveniente de vulcões e a segunda da queima de combustíveis fósseis. Essa queima libera diretamente SO_2 na atmosfera enquanto vulcões liberam H_2S . O H_2S pode reagir com O_2 formando SO_2 ou com OH^- formando HS^- ,

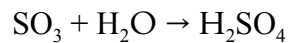
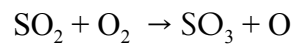
que por sua vez reage com O_2 , produzindo SO que ao reagir com O_2 novamente transforma-se em SO_2 (SCHIRMER e LISBOA, 2008).



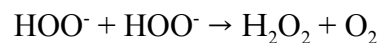
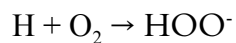
Para formar o ácido sulfúrico na atmosfera, o SO_2 pode seguir vários caminhos. Um deles é a partir da reação do SO_2 com o O_2 e o H_2O presentes na atmosfera.



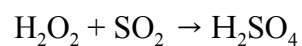
Outro é a partir da reação do SO_2 e O_2 formando SO_3 . Depois o SO_3 reage com o H_2O , formando o ácido sulfúrico.



O último mecanismo é a partir da reação de H_2O_2 . Para formar H_2O_2 , é reagido na atmosfera 2 moléculas de HOO^- , que foram produzidas pela reação fotoquímica de H e O_2 .



Depois de formado, o H_2O_2 reage com SO_2 , formando o ácido sulfúrico.



Ciclo do Nitrogênio

O ar da que compreende a nossa atmosfera é principalmente composto por nitrogênio e seus compostos, os quais compreendem o monóxido de nitrogênio (NO), o dióxido de nitrogênio (NO₂) e o óxido nitroso (N₂O) (SCHIRMER e RUDNIAK, 2009).

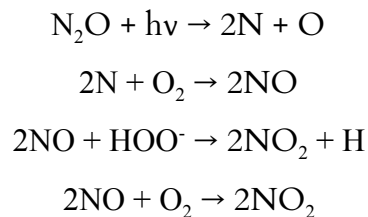
O nitrogênio, apesar de abundante, é de difícil acesso para os seres vivos. Isso ocorre porque em sua grande maioria, ele está presente em sua forma mais inerte (N₂). Essa inércia vem da tripla ligação covalente apolar entre os nitrogênios. Dessa forma, essa ligação precisa ser quebrada e o nitrogênio se transformar em moléculas mais reativas (NH₃, NH₄⁺, NHO₃⁻) para então ser utilizado pelos organismos. Essa transformação do N₂ para moléculas mais reativas se chama disponibilização, enquanto o processo inverso se chama indisponibilização. De forma natural, alguns microrganismos, de vida livre ou simbioses com plantas, são responsáveis por essa disponibilização. Apesar de ocorrer na natureza, a influência da atividade humana não pode ser ignorada. A maior parte do nitrogênio disponibilizado através de ações humanas vai para fertilizantes que são produzidos de forma industrial com base em N₂ (ADUAN, 2004).

A fixação do nitrogênio é realizada pela ação de organismos os quais transformam o mesmo em moléculas mais reativas como amônia NH₃, amônio NH₄⁺ e nitrato NHO₃⁻, tornando possível a absorção destes nutrientes para as plantas (ADUAN, 2004)

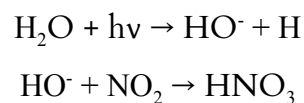
A queima de combustíveis fósseis e degradação da biomassa auxilia na difusão dos óxidos de nitrogênio e no óxido nitroso, gás o qual é um dos principais agentes no efeito estufa. Logo a sua exalação em excesso graças à queima desses combustíveis em motores de veículos, processos industriais e usinas termelétricas. Seus compostos reagem de forma que o NO acabe se oxidando formando o NO₂, que por sua vez ao interagir com a umidade do ar acaba dando origem ao ácido nítrico HNO₃, ácido que age junto ao H₂SO₄ na chuva ácida (SCHIRMER e RUDNIAK, 2009).

A principal reação envolvendo o nitrogênio na atmosfera é a síntese de ácido nítrico. Similar ao enxofre, o nitrogênio chega à atmosfera por meios naturais e antrópicos, sendo o primeiro o produto de reações microbiológicas e o segundo por meio da queima de combustíveis fósseis. Da queima

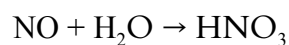
são liberados NO₂, e pelas reações microbiológicas é liberado N₂O. Assim como o enxofre, o nitrogênio possui diversos mecanismos para chegar no ácido. Primeiramente ocorre a reação fotoquímica de N₂O gerando N, que vira NO e NO₂.



Depois, o primeiro mecanismo é a partir da reação de NO₂ com OH⁻, sendo o último formado pela reação fotoquímica do H₂O.



O outro é a partir de da reação de NO com H₂O.



Impactos à Saúde

As doenças respiratórias crônicas, também conhecidas como DRC, são responsáveis por aproximadamente 7% da taxa de mortalidade global, o que representa em torno de 4,2 milhões de mortes. Em 2011, as DRC foram a terceira maior causa de óbitos no grupo de doenças crônicas não transmissíveis, conhecidas como DCNT. As principais DRC são a doença pulmonar obstrutiva crônica, a hipertensão pulmonar, as alergias, doenças relacionadas ao processo de trabalho e a asma, sendo a última a mais comum. A poluição ambiental, o tabagismo, os fatores genéticos e os agentes ocupacionais são fatores de risco para as DRC (BRASIL, 2016).

As vias de penetração para os poluentes no organismo se dividem em três, sendo elas: respiratória; cutânea; digestiva.

As vítimas desses problemas não sucumbem por estados críticos dos mesmos. Contudo é contraída a doença respiratória por ocorrer o enfraquecimento gradativo da pessoa, até o momento da falha de um órgão vital, ou o desenvolvimento de doenças como o câncer (LISBOA, 2007).

Impactos Ambientais

A chuva ácida é um grave problema ambiental, já que a mesma ocorre naturalmente, a ação antrópica com o passar dos anos acabou resultando em uma elevação no nível de NO_x e SO_2 emitidos na atmosfera. Os gases quando expostos em contato com a água e interagem com a energia luminosa proveniente do sol acaba reagindo de modo a formar um novo composto ácido, os quais são responsáveis pelo fenômeno da chuva ácida. O aumento da ocorrência dos gases se deve a grande utilização da queima de combustíveis fósseis, sendo as maiores fontes de SO_2 e NO_x (DRUMM, 2014).

Outro efeito causado pela emissão de gases é o *Smog* (do Inglês: *smoke* (fumaça) + *fog* (neblina)) é como denomina-se a cortina gasosa tóxica quando a cerração com as emissões gasosas e poluentes particulados suspensos na atmosfera reagem na luz do sol, formando uma neblina amarela-amarronzada com um odor forte. Os reagentes poluentes encontrados neste fenômeno são: ozônio, nitrato de peroxiacetila, aldeídos, oxidação de hidrocarbonetos, aerossóis, óxidos de nitrogênio, (SCHIRMER e RUDNIAK, 2009). Os primeiros episódios de *Smog* foram observadas nas cidades ocidentais mais industrializadas durante a segunda metade do século XX e são observados até hoje em grandes cidades e metrópoles, devido a grandes picos de ozônio e à concentração elevada de compostos orgânicos voláteis (VOC's) emitidos pela queima de combustíveis fósseis, luz solar e ocorrem com maior frequência no inverno, por causa de uma inversão térmica que acaba ocasionando em uma cerração.



**Volatile Organic Compound* (Composto Orgânicos Voláteis)

Em 1952, houve um episódio em Londres chamado de "*The Great Smog*", resultado das emissões de SO₂ e materiais particulados e intensificado por uma inversão térmica. Em cinco dias, cerca de 4000 pessoas vieram a óbito por consequência desse acontecimento (KEMERICH, 2014).

Smogs são prejudiciais tanto ao trânsito e tráfego aéreo, por reduzirem a visibilidade (KEMERICH, 2014), quanto à saúde humana causando inflamações nas vias respiratórias que duram até 18 horas ocasionando em tosse, sensação de peito aberto, asma, tosse e dor de cabeça além de alergias, problemas cardíacos e morte em caso de exposição prolongada (SCHIRMER e RUDNIAK, 2009).

O estudo sobre tais fenômenos pode levar à uma análise detalhada do nível de contaminação das áreas urbanas. Câmaras de *smog* são ambientes controlados que se aproximam das condições meteorológicas do lugar em questão a fim de analisar as reações que ocorrem com os materiais particulados ou emissões gasosas. Este sendo usado para obter-se os dados cinéticos relevantes dos poluentes (MIGUEL et al., 1995).

Efeitos do SO₂ e NO₂ nas plantas

Os gases dão origem a diversos problemas quando em grande escala, como por exemplo a limitação apresentada na penetração da luz, seja por sua sedimentação de partículas presentes nos folíolos e a interferência realizada por suas partículas que se mantém em suspensão. Os poluentes prejudicam o solo por sua sedimentação e transporte de partículas, que juntamente as chuvas acabam penetrando pelas raízes da vegetação e alterando as condições físico-químicas do solo, além da própria invasão de seus estômatos. Os efeitos na vegetação demonstram variações, sejam visíveis ou não, as consequências mais notáveis são seus colapsos do tecido foliar, alterações de suas cores normais e crescimento (ADUAN, 2004).

A queima de combustíveis fósseis não pode ser considerada como um processo natural, e sim como uma fixação antropogênica de nitrogênio, já que disponibiliza para biota terrestre ao nitrogênio das bacias sedimentares profundas. A perda do nitrogênio para a atmosfera é realizada geralmente por microrganismos que utilizam do nitrogênio na forma de HNO₃ para realizar respiração anaeróbica,

tal processo chamado de desnitrificação. Outra forma de perder nitrogênio para a atmosfera é a queima de matéria orgânica (ADUAN, 2004).

As plantas são mais sensíveis que os animais, pois, na natureza as plantas ficam sempre na linha de frente quando as emissões gasosas nocivas entram em contato com o meio ambiente, já que elas funcionam como uma proteção, filtrando e barrando os gases e particulados no ar. Tal comportamento deu a ideia de cinturões de proteção feito com árvores em zonas poluídas, como a que foi feita em torno do Polo Petroquímico em Camaçari, na Bahia (BERNATZKY, 1978).

(A): a vegetação mais densa diminui a entrada de gases e o nível de retenção de gases;

(B): a vegetação mais rala permite que o vento penetre, aumentando a filtração do ar.

Além disso, como descrito por ele, os poluentes químicos também são uma ameaça às plantas, dando destaque ao NO_2 e o SO_2 , pois, esses gases geram compostos ácidos quando entra em contato com a umidade do ar e das folhas. Muitas vezes o SO_2 acaba oxidando e se tornando SO_3 , dando origem ao ácido sulfúrico em contato com a água.

Esses ácidos, são considerados ácidos fortes e acabam gerando danos visíveis nas folhas além de dificultar o brotamento e o desenvolvimento de novas mudas, pois quando há o contato com solo o HSO_3 acaba reduzindo o seu pH (SCHIRMER e RUDNIAK, 2009).

Uso de vegetais da qualificação do ar

Tendo em vista os danos que a poluição e de como a vegetação está exposta, pode-se usá-las como bioindicadores, ou seja, como aparelhos funcionais vivos de qualificação do ar de certo ambiente. Esses bioindicadores revelariam os dados do ar e do solo através da observação do grau de desenvolvimento de biomassa, crescimento, grau de injúria foliar e funcionamento do metabolismo, sendo assim um acompanhamento em nível tanto macroscópico quanto microscópico (CARNEIRO, 2004). A utilização de espécies vegetais bioindicadoras comprova e demonstra os efeitos negativos da poluição em seres vivos de uma maneira facilmente inteligível, inclusive para leigos (KLUMPP, 2001).

Tomando como exemplo o estudo realizado por Carneiro (2004) sobre o uso de bioindicadores de poluição atmosférica, sabe-se que não é uma novidade usar espécies vegetais para a qualificação do ar. O método de controle das plantas com relação a poluição do ambiente era feito pela observação das características da mesma verificando danos visíveis a olho nu nos caules, folhas, flores e frutos, bem como as modificações invisíveis a olho nu, tais como alterações metabólicas, fisiológicas e genéticas.

Os efeitos do dióxido de enxofre nas plantas estão diretamente relacionados à sua absorção pelas folhas e pela sua acumulação em nível celular. Este gás penetra pelos estômatos e atinge o mesófilo, onde é dissolvido na água originando íons sulfito que são assimilados pelas células, sua ação altera a permeabilidade das membranas celulares, interfere na fotossíntese reduzindo a fixação de CO₂, acarretando um aumento da respiração e da transpiração e, conseqüentemente, refletindo na queda da produtividade das plantas (POMPÉIA, 1997).

Já nitrogênio é um nutriente essencial para a vegetação. Em ecossistemas tropicais úmidos, constitui um dos elementos limitantes no desenvolvimento das plantas devido à acentuada lixiviação de nitrato dos solos provocada pelas chuvas. Quando em concentrações baixas, os efeitos destes gases sobre a vegetação podem ser até benéficos. Eles penetram pelas folhas através dos estômatos (na fase gasosa) e quando dissolvidos em água, os íons amônio e/ou nitrato podem ser absorvidos diretamente pela epiderme através da cutícula. Uma vez no mesófilo, os íons na fase aquosa, penetram nas moléculas onde a amônia é oxidada a nitrato, sendo este acumulado no vacúolo. A medida que se torna necessário, o nitrato é reduzido e incorporado em aminoácidos e em outros metabólitos, sendo utilizados na síntese de proteínas, ácidos nucléicos e outros compostos essenciais (PINTO, 2000).

Os sais nitrogenados, em altas concentrações, podem levar à plasmólise celular e à morte dos tecidos foliares decorrentes do desbalanço osmótico. Pompéia (1997) salienta ainda que a redução do crescimento e da síntese proteica em uma planta sob estresse pode também provocar o acúmulo de amônia em nível celular, uma vez que não há nas plantas mecanismos de inibição retroativa de absorção de nitrogênio. A amônia em excesso é tóxica às células, e algumas plantas possuem

mecanismos de desintoxicação pela síntese de aminoácidos, que por não serem incorporados em processos anabólicos, acabam acumulando-se nas folhas.

PARTE EXPERIMENTAL

Inicialmente foi realizado uma revisão bibliográfica a partir das plataformas de buscas por artigos científicos sobre o tema.

A parte experimental foi realizada no Instituto Federal Catarinense (Câmpus Araquari) com a instalação de três estufas com estruturas compostas de madeira, plástico fixado com velcro para possibilitar a abertura no período noturno e cobertura de vidro (2,15 metros de largura X 0,9 metros de comprimento X 1,55 metros de altura).

Para o experimento foi utilizado um motor a Diesel de um Tobatta de 14cv de potência, o qual os gases expelidos por seu escapamento foram dirigidos para dentro de estufas por meio de uma tubulação de PVC e poliuretano, de 10 centímetros de diâmetro para a exposição das mudas de árvores aos gases.

Desenho amostral

Foi realizada a prática com diferentes tipos de mudas, sendo elas a Guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*), Araçá (*Psidium cattleianum*), Pau-ferro (*Libidibia férrea*), Aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e Cuvatã (*Cupania vernalis*), as quais foram dispostas vinte e cinco exemplares de cada espécie em três diferentes estufas, sendo elas uma para controle, uma que é exposta aos gases duas vezes ao dia e outra quatro vezes ao dia.

As exposições tiveram um período de dois minutos. Tal tempo foi estimado após testes que mostraram que os níveis dos gases dentro da estufa eram parecidos com os encontrados na atmosfera em horários de alto tráfego de automóveis em grandes cidades. Esse dado da resolução definida pelo órgão do CONAMA, e conseguiu-se descobrir o tempo de exposição estimado com

um medidor eletrônico que revelava a concentração de SO₂ e NO₂ dentro das estufas. A duração total dessa etapa do experimento foi de 120 dias, mensalmente, foi retirado um espécime de cada muda de cada estufa, dos quais foram usados para quantificar a biomassa e realizar a análise de injúria foliar.

Curva de emissão de gases

O estudo começou com realização da simulação da dispersão de NO₂ e SO₂ em ambiente controlado das estufas (simulando um período mais crítico à dispersão dos poluentes em uma grande cidade). O tempo de exposição foi estipulado observando a concentração e o tempo necessário para a dispersão dos gases.

Injúria foliar

O surgimento de injúrias foliares visíveis (necroses) foram vistoriadas e mensurados visualmente em porcentagem de folíolo afetado. Para cada indivíduo foi ser aplicado o Índice de Injúria Foliar (IIF) Quadro 1, onde a porcentagem de sintomas é dividida em classes de acordo com Furlan et al. (2008):

Quadro 1. Classificação de injúria foliar com base na área afetada

| Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1-5% | 6-25% | 26-50% | 51-75% | 76-100% |

Biomassa

Para o cálculo de biomassa, primeiramente foi removido a terra das plantas e foram separadas em três partes: folíolos, caule e raiz. Após, tratou-se de ser realizado e anotado a pesagem úmida de

cada estrutura. Posteriormente foi separado meia porção da massa dos folíolos e da raiz e foi colocado o restante juntamente com os caules na estufa a 84 °C por 24 horas. Após foi retido as partes das plantas e realizado a pesagem.

Para comparação de médias, foi utilizado o teste t de *student*, a 5% de probabilidade, entre as massas das plantas de coleta de cada experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curva de emissão de gases

Os resultados apresentados mostraram que os valores máximos das concentrações horárias simuladas de NO₂ estiveram bem acima dos padrões primários estabelecidos na Resolução CONAMA N° 03/90 (NO₂ µg/m³) até os 18 segundos, quando o gás começou a dissipar. O SO₂ iniciou-se também acima do limite legal (SO₂ µg/m³) e até começar a se dissipar partir dos 38 segundos e manteve-se abaixo do limiar e seguiu constante até 2 horas. No fim do teste notou-se que foram necessárias 3 horas para total dispersão dos gases.

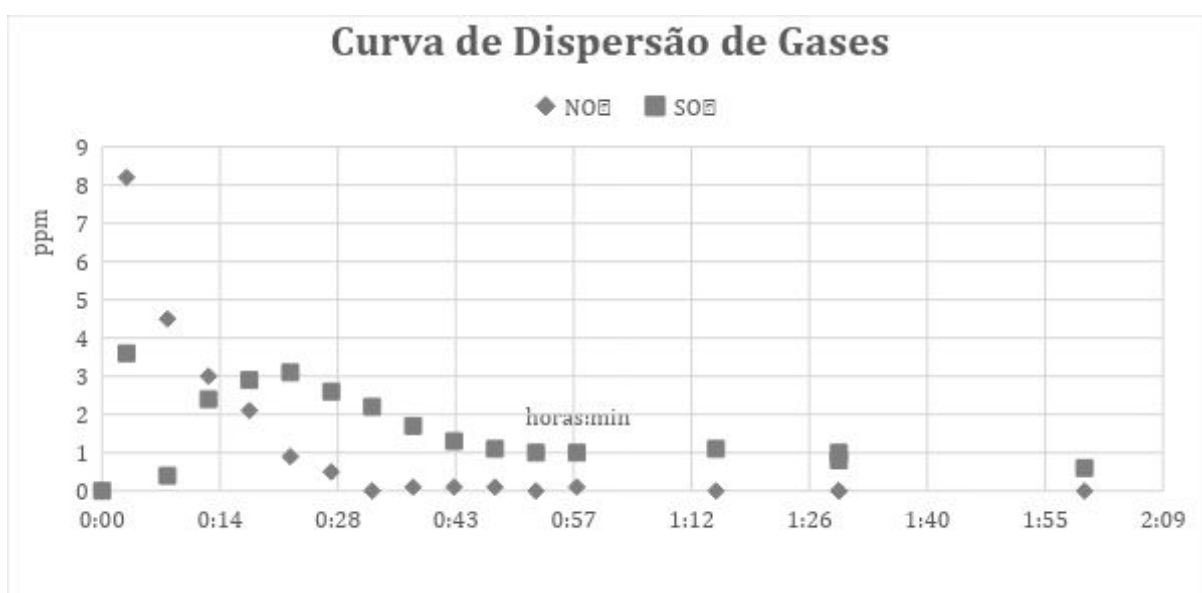


Figura 1. Curva de dispersão de gases realizada como teste para o cálculo do tempo padrão de funcionamento do veículo a diesel (tobata).

Injúria foliar

Dentre as espécies analisadas a guabiroba era a espécie que possuía mudas de menor porte, estando desta forma com menos substrato, de acordo com Mendonça et al. (2003) plantas em recipientes menores com pouco substrato possuem nutrientes que podem ser limitantes ou esgotados em menor tempo, esta limitação pode ocasionar negativamente no desenvolvimento das plantas.

A mudas da espécie cuvata sofreram já no começo do experimento, muitas perderam todas as folhas, Segundo Lima (1980), a poluição causa prejuízos às árvores, lesões necróticas nas folhas são o resultado da absorção de gases poluentes em doses elevadas (efeito agudo), que pode acarretar com o desfoliamento prematuro, porém, ao longo do experimento mostraram potencial de resiliência e ao final de 120 dias várias mudas desta espécie haviam renovado suas folhas.

As mais evidentes manifestações de injúrias foliares visíveis ocorreram depois de 60 dias de permanência das plantas nas estufas (Figura 2). As mudas cultivadas apresentaram comportamento diferente entre as estufas, mas a maior diferença ocorreu entre as espécies, sendo por ordem crescente de grau de injúria foliar: arará < pau-ferro/cuvatã < aroeira < guabiroba, com médias respectivamente: 1,33, 1,42, 1,58 e 2,67.

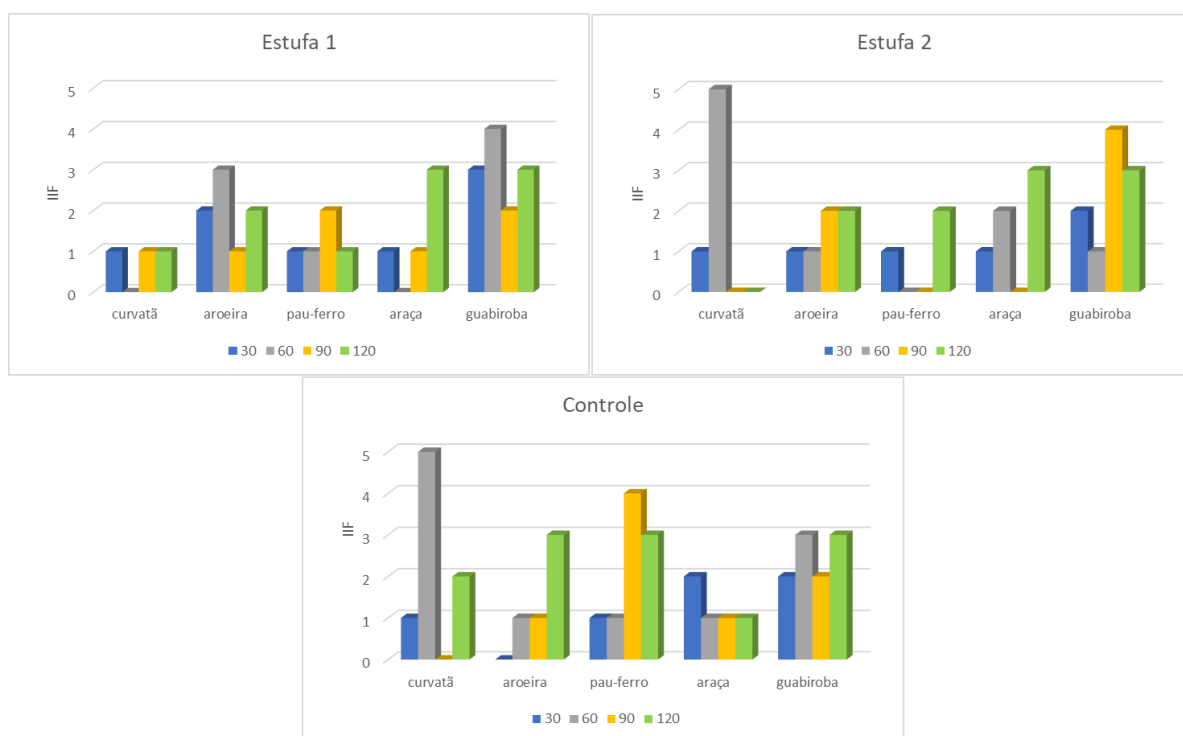


Figura 2. Índice de Injúria Foliar (IIF) nos diferentes tratamentos durante os 120 dias de exposição.

Biomassa

A Tabela 1 apresenta a biomassa seca dos folíolos das mudas. Pode-se observar que apenas houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos estufa controle e estufa 2, da espécie guabiroba ($p=0,032$) e aroeira ($p=0,042$). Quanto aos demais não houve decomposição significativa da biomassa seca nos tratamentos.

Tabela 1. Biomassa seca dos folíolos em (g) dos diferentes tratamentos.

| Estufa Controle | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
|----------------------|---------------|-----------|---------------|-------------|------------|
| 30 dias | 0,46 | 1,44 | 0,03 | 0,46 | 0,41 |
| 60 dias | 0,37 | 1,51 | 0,59 | 1,12 | 1,17 |
| 90 dias | 0,14 | 0,83 | 0,03 | 0,36 | 1,99 |
| 120 dias | 0,38 | 0,25 | 0,56 | 0,38 | 0,67 |
| Média | 0,34 | 1,01 | 0,30 | 0,58 | 1,06 |
| Desvio Padrão | 0,14 | 0,59 | 0,32 | 0,36 | 0,69 |
| Estufa 1 | Guabiroba | Araçá | Pau-Ferro | Aroeira | Cuvatã |
| 30 dias | 0,14 | 0,79 | 0,26 | 0,66 | 0,03 |
| 60 dias | 0,19 | 0,70 | 0,21 | 0,93 | 0,49 |
| 90 dias | 0,14 | 0,60 | 0,21 | 1,37 | 0,11 |
| 120 dias | 0,33 | 0,43 | 0,29 | 1,75 | 12,74 |
| Média | 0,20 | 0,63 | 0,24 | 1,18 | 3,34 |
| Desvio Padrão | 0,09 | 0,15 | 0,04 | 0,48 | 6,27 |

| Estufa 2 | Guabiroba | Araçá | Pau-Ferro | Aroeira | Cuvatã |
|----------------------|------------------|--------------|------------------|----------------|---------------|
| 30 dias | 0,49 | 0,60 | 0,47 | 0,47 | 0,14 |
| 60 dias | 0,64 | 1,19 | 0,24 | 1,77 | 0,92 |
| 90 dias | 0,30 | 0,01 | 0,27 | 1,85 | 0,11 |
| 120 dias | 0,48 | 0,83 | 0,37 | 1,67 | 0,67 |
| Média | 0,48 | 0,66 | 0,34 | 1,44 | 0,46 |
| Desvio Padrão | 0,14 | 0,49 | 0,10 | 0,65 | 0,40 |

A Tabela 2 apresenta a biomassa seca dos caules das mudas. Pode-se observar que apenas houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos estufa controle e estufa 2, da espécie guabiroba ($p=0,023$) e aroeira ($p=0,035$). Quanto aos demais não houve decomposição significativa da biomassa seca nos tratamentos.

Tabela 2. Biomassa seca dos caules em (g) dos diferentes tratamentos.

| Estufa Controle | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
|------------------------|----------------------|------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 30 dias | 0,71 | 3,18 | 5,26 | 2,58 | 2,88 |
| 60 dias | 0,53 | 2,43 | 3,06 | 5,64 | 12,89 |
| 90 dias | 0,51 | 0,96 | 5,88 | 2,45 | 12,47 |
| 120 dias | 0,39 | 3,30 | 7,56 | 2,53 | 11,65 |
| Média | 0,53 | 2,47 | 5,44 | 3,30 | 9,97 |
| Desvio Padrão | 0,13 | 1,08 | 1,86 | 1,56 | 4,76 |
| Estufa 1 | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
| 30 dias | 0,88 | 1,77 | 5,76 | 5,20 | 5,26 |
| 60 dias | 0,55 | 1,03 | 3,26 | 3,06 | 10,08 |
| 90 dias | 0,51 | 1,42 | 3,34 | 6,48 | 8,02 |
| 120 dias | 1,09 | 1,28 | 3,43 | 9,86 | 15,34 |
| Média | 0,76 | 1,37 | 3,95 | 6,15 | 9,67 |
| Desvio Padrão | 0,28 | 0,31 | 1,21 | 2,85 | 4,26 |
| Estufa 2 | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
| 30 dias | 0,79 | 1,67 | 4,50 | 4,50 | 0,88 |
| 60 dias | 1,17 | 2,39 | 5,35 | 9,54 | 8,55 |
| 90 dias | 1,10 | 0,82 | 5,38 | 6,09 | 10,86 |
| 120 dias | 0,74 | 2,92 | 7,56 | 5,16 | 13,80 |
| Média | 0,95 | 1,95 | 5,70 | 6,32 | 8,52 |
| Desvio Padrão | 0,21 | 0,91 | 1,31 | 2,24 | 5,53 |

A Tabela 3 apresenta a biomassa seca das raízes das mudas. Pode-se observar não houve diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). De acordo com Pinto, 2000, o dióxido de enxofre pode causar alterações nas plantas devido a sua alta solubilidade em água, grande quantidade é absorvida pelas superfícies úmidas externas da folha, o que resulta em um primeiro momento alteração nas

partes aéreas das plantas, o que possivelmente explica o fato de não haver diferença na biomassa da raiz.

Tabela 3. Biomassa seca das raízes em (g) dos diferentes tratamentos.

| Estufa Controle | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
|------------------------|----------------------|------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 30 dias | 0,69 | 2,86 | 1,74 | 1,31 | 1,02 |
| 60 dias | 0,59 | 9,28 | 9,17 | 4,63 | 13,28 |
| 90 dias | 0,40 | 1,15 | 5,75 | 1,40 | 6,93 |
| 120 dias | 1,41 | 2,02 | 3,83 | 1,44 | 10,84 |
| Média | 0,77 | 3,83 | 5,12 | 2,19 | 8,02 |
| Desvio Padrão | 0,44 | 3,70 | 3,16 | 1,62 | 5,35 |
| Estufa 1 | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
| 30 dias | 1,11 | 1,17 | 2,60 | 2,37 | 1,74 |
| 60 dias | 0,52 | 0,94 | 6,33 | 2,63 | 13,06 |
| 90 dias | 0,40 | 0,71 | 1,17 | 4,16 | 8,98 |
| 120 dias | 0,73 | 0,43 | 1,42 | 0,94 | 12,74 |
| Média | 0,69 | 0,81 | 2,88 | 2,52 | 9,13 |
| Desvio Padrão | 0,31 | 0,32 | 2,38 | 1,32 | 5,26 |
| Estufa 2 | Guabiroba (g) | Araçá (g) | Pau-Ferro (g) | Aroeira (g) | Cuvatã (g) |
| 30 dias | 0,68 | 0,85 | 2,65 | 2,65 | 1,11 |
| 60 dias | 0,50 | 3,72 | 9,17 | 4,63 | 14,37 |
| 90 dias | 0,69 | 0,50 | 1,30 | 4,17 | 8,98 |
| 120 dias | 1,05 | 1,66 | 3,83 | 6,04 | 7,13 |
| Média | 0,73 | 1,68 | 4,24 | 4,38 | 7,89 |
| Desvio Padrão | 0,23 | 1,44 | 3,44 | 1,40 | 5,47 |

CONCLUSÃO

Com base na análise de injúria foliar pelo método de Furlan, concluiu-se que emissões de SO₂ e CO₂ possivelmente afetam no envelhecimento natural dos folíolos, uma vez que o foi verificado um acréscimo de injúrias foliares ao longo do experimento, mesmo não havendo grande divergência entre as estufas na maioria dos casos. A análise dos cálculos de biomassa mostrou que as plantas sofreram alterações significativas apenas nas partes aéreas, isto é, o caule e os folíolos e somente entre as estufas controle e 2. A partir dos dados coletados, dentre as espécies deste estudo a araçá

demonstrou-se a mais resistente e a guabiroba a mais sensível aos gases SO₂ e NO₂ quando o parâmetro analisado foi o IIF, entretanto, quando analisado a biomassa, houveram alterações significativas apenas nas espécies aroeira e arará, quando comparadas as estufas Controle e 2. Assim, pode-se concluir que as espécies apresentaram certa resistência a emissão de gases, visto que os resultados indicam que as elas toleram certo grau aos poluentes, com maior tolerância quando a ação de tais poluentes ocorre pela via edáfica, e sendo mais afetadas quando a exposição ocorre pela via aérea. Novos estudos devem ser realizados para verificar quais espécies são mais afetadas por esses gases, infere-se a necessidade de análises fenológicas, ampliando as possibilidades de interpretação sobre os efeitos danosos causados por poluentes atmosféricos.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E. Os Grandes Ciclos *Biogeoquímicos do Planeta*. 2004. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Cerrado, **2004**. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/569371/1/doc119.pdf>, acessada em outubro de 2018.
- BERNATZKY, A. Tree Ecology and Preservation. **1978**. *Elsevier Scientific*. Nova Iorque. p.357.
- BRAGA, A; PEREIRA, L; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. Faculdade de Medicina da USP. **2001**. <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/35099/37838>, acessada em setembro de 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legipesq>, acessada em junho de 2018. 1990.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Perfil da morbimortalidade por doenças respiratórias crônicas no Brasil, 2003 a 2013. *Boletim Epidemiológico*: v. 47, n. 19. **2016**.
- CARNEIRO, R. M. Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade. *Tese de Doutorado*. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- DRUMM, Fernanda Caroline et al. Air pollution from the burning of fuels derived from petroleum in motor vehicles. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 18, n. 1, p. 66-78, **2014**.
- FORATTINI, O. P. *Ecologia, epidemiologia e sociedade*. 1992. Ed. USP/Ed. Artes Médicas, São Paulo, 1992. <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v26n5/11.pdf>, acessada em maio de 2018.

FURLAN, C. M., MORAES, R. M., BULBOVAS, P., DOMINGOS, M., SALATINO, A. E SANZ, M. J. *Tibouchina pulchra* (Cogn.) Cham. a native Atlantic Forest species as a bioindicator of ozone: visible injury. *Environmental Pollution* v. 15, p.: 361-365. **2008**.

KEMERICH, P. D. da C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. de. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: MÉTODOS E APLICAÇÕES. *Revista Monografias Ambientais*, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 3718-3722, nov. 2014. ISSN 2236-1308. <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/14411>, acessada em outubro de 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>.

KLUMPP, A. Um Novo Conceito de Monitoramento e Comunicação Ambiental: a Rede Europeia para a Avaliação da Qualidade do Ar Usando Plantas Bioindicadoras (EuroBionet). *Revista Brasil de Botânica*, São Paulo, v. 24, n. 4 (suplemento), p.511-518, dez. **2001**.

LIMA, W. P. As Florestas e a Poluição do Ar. 1980. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Departamento de Silvicultura da E.S.A.L.Q*, São Paulo, 1980.

LISBOA H. M.. Controle da Poluição atmosférica. Cap. III Efeitos causados pela poluição atmosférica. Dez 2007. Universidade Federal de Santa Catarina. <http://www.lc qar.ufsc.br/adm/aula/Cap%204%20Monitora-mento%20da%20QUALIDADE%20DO%20AR.pdf>, acessada em julho de 2018.

MENDONÇA, V.; ARAÚJO NETO, S. E.; RAMOS, J. D.; PIO, R.; GONTIJO, T. C. A. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro Sunrise Solo. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 25, p.127-130, **2003**.

MIGUEL H. A.; AQUINO-NETO F. R; CARDOSO, J. N.; VASCONCELLOS, P. C.; PEREIRA A. S.. MARQUEZ, K. S. G. Characterization of indoor air quality in the cities of São Paulo and Rio de Janeiro – Brazil. *Environ Sc Tech*. 29:p. 338-345. **1995**.

PINTO, R. M. S. Dados Radiométricos (0,400 A 0,900 μ M) na Avaliação de Efeitos da Poluição Atmosférica em Folhas de Espécies da Mata Atlântica e Cubatão (SP). São José dos Campos: INPE, 146p. *Dissertação de Mestrado* (Mestrado em Sensoriamento Remoto). 2000.

POMPÉIA, S. L. Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica Cubatão, SP. São Paulo. 193 p. *Tese de Doutorado* (Doutorado em Botânica) – Universidade de São Paulo, 1997.

SCHIRMER, W. N; LISBOA, H. M. Química Da Atmosfera: Constituintes Naturais, Poluentes E Suas Reações. *TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v. 12 n. 2, p. 37-46, jul./dez. 2008.

SCHIRMER, W. N; RUDNIAK, A. Avaliação das Emissões Gasosas de Diferentes Tipos de Combustíveis Utilizados e Seus Impactos Ambientais. *TECNO-LÓGICA*. Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 1, p. 25-34, jan./jun. **2009**.

TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 14, nº 3, p.445- 454. **2011**.