



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL/BIOPROSPECÇÃO

Aline do Nascimento Rocha

Biomonitoramento da qualidade do ar na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul: alterações mutagênicas e anatômicas em *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. HUNT var. *purpurea*

**Dourados – MS
Agosto 2017**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL/BIOPROSPECÇÃO

Aline do Nascimento Rocha

Biomonitoramento da qualidade do ar na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul: alterações mutagênica e anatômicas em *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. HUNT var. *purpurea*

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr^a. Rosilda Mara Mussury Franco Silva

**Dourados-MS
2017**

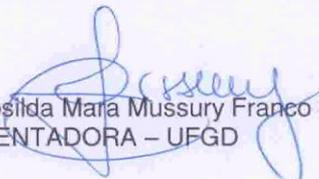
Dedico este trabalho a todos que me deram o suporte e sofreram comigo as dificuldades de concluir o mesmo, de forma especial à minha família e minha orientadora.

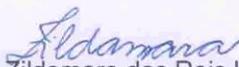
"BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NA MESORREGIÃO SUDOESTE DE MATO GROSSO DO SUL: ALTERAÇÕES MUTAGÊNICA E ANATÔMICAS EM *Tradescantia pallida* (ROSE) D.R. HUNT VAR. PURPUREA".

POR

ALINE DO NASCIMENTO ROCHA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS (UFGD), COMO PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM BIOLOGIA GERAL - ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: "BIOPROSPECÇÃO".


PROF^a. DR^a. Rosilda Mara Mussury Franco Silva
ORIENTADORA – UFGD


PROF^a. DR^a. Zildamara dos Reis Holsback
MEMBRO TITULAR – UEMS / CAMPUS MUNDO NOVO


PROF. DR. Bruno do Amaral Crispim
MEMBRO TITULAR – UFGD


PROF^a. DR^a. LILIAM SILVIA CÂNDIDO
MEMBRO TITULAR – UFGD

Aprovada em 11 de maio de 2017.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R672b Rocha, Aline Do Nascimento
Biomonitoramento da qualidade do ar na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul: alterações mutagênicas e anatômicas em *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. HUNT var. *purpurea* / Aline Do Nascimento Rocha -- Dourados: UFGD, 2017.
59f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Rosilda Mara Mussury Franco Silva
Co-orientadora: Liliam Silvia Candido

Dissertação (Mestrado em Biologia Geral/Bioprospecção) - Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Biomonitor. 2. Tradescantia. 3. Micronúcleo. 4. Anatomia Vegetal. 5. Atmosfera. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Agradecimentos

Ao termino dessa etapa o que mais quero é agradecer. Agradecer primeiramente a Deus pela grandeza de sua bondade em nos dar o dom da vida e capacidade de aprender. Foi uma trajetória com grandes desafios, no entanto, em momento algum foi uma trajetória solitária. Por este motivo, tenho muito a agradecer a vários companheiros que contribuíram, com apoio e ensinamentos, sempre na torcida e expressando todo o carinho comigo.

Gostaria de aqui agradecer por poder acordar todos os dias e saber que tenho uma família, especialmente, meus pais que me apoiam e lutam por um futuro digno, que me ensinaram o valor do caráter, da honestidade, do ser e não o ter. Ao meu irmão, que muitas vezes me acompanhou e foi meu auxiliar de campo e laboratório em várias ocasiões. Aos amigos que me apoiaram e me acompanharam nas viagens de pesquisa que foram verdadeiras aventuras.

Agradeço aos companheiros de estudos e pesquisa, às horas intermináveis de olho no microscópio, por muitos compromissos a cumprir, o que me fez aprender e a ver o valor de cada conquista, enquanto muitos jamais saberão o que é isso.

Sou imensamente grata aos professores participantes da banca examinadora que contribuíram com seus conhecimentos e dividiram comigo este momento tão importante e esperado: professor Doutor Bruno Amaral Crispim e a professora Doutora Zildamara Holsback. Em especial a professora Doutora Liliam Silvia Candido por compartilhar de seus conhecimentos estatísticos e contribuir significativamente para a finalização deste trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção por ter proporcionado o conhecimento com ótimas aulas ministradas por ótimos professores. Agradeço a instituição Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro do presente trabalho.

A vida é feita de desafios e obstáculos que precisamos superar! Muitos deles são necessários parceiros que acreditem no desafio e na capacidade de sairmos vitoriosos no desejo de trazermos o conhecimento a toda comunidade, tendo isso, quero deixar toda a minha gratidão à minha amiga e orientadora professora Dra. Rosilda Mara Mussury Franco Silva que depositou confiança em mim e me fez acreditar que tenho grande potencial, pois este belo estudo será uma fonte de informações para todo o Estado de Mato Grosso do Sul.

SUMÁRIO

Resumo.....	1
Abstract.....	2
Introdução.....	3
Revisão bibliográfica.....	4
<i>Poluição atmosférica.....</i>	4
<i>Biomonitoramento.....</i>	6
<i>Bioindicador vegetal.....</i>	7
<i>Tradescantia pallida.....</i>	9
Objetivo geral.....	10
Objetivo específico.....	10
Referências bibliográficas.....	11
Capítulo 1 - Estimativa da poluição veicular biomonitorada pelo bioensaio TRAD-MCN em diferentes gradientes de altitude	
Resumo.....	17
Abstract.....	18
Introdução.....	19
Materiais e métodos.....	20
<i>Local de estudo.....</i>	20
<i>TRAD-MCN.....</i>	21
<i>Avaliação do fluxo veicular e condições ambientais.....</i>	21
<i>Análise estatística.....</i>	22
Resultados.....	24
Discussão.....	27
Conclusão.....	30
Referências bibliográficas.....	30
Capítulo 2 - Aspectos anatômicos foliares de <i>Tradescantia pallida</i> na avaliação de qualidade do ar na mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul.	
Resumo.....	34
Abstract.....	35
Introdução.....	36
Materiais e métodos.....	37
<i>Local de estudo.....</i>	37
<i>Análises Anatômicas.....</i>	38
<i>Avaliação do fluxo veicular e condições ambientais.....</i>	39
<i>Análise estatística.....</i>	39
Resultados.....	41
Discussão.....	45
Conclusão.....	47
Referencias bibliográficas.....	48
Anexos.....	53

RESUMO

O Estado de Mato Grosso do Sul atualmente está em uma nova fase em sua estrutura econômica. Anteriormente, a principal atividade era a agricultura, hoje a economia sul-mato-grossense avançou na agropecuária, no turismo ecológico, na produção de celulose e sucroalcooleira. Uma das consequências deste crescimento diversificado é o maior número de fontes emissoras de poluentes, sejam estacionárias ou móveis. Com isso, os efeitos nocivos da poluição atmosférica sobre a saúde da população local é uma preocupação, a qual se faz necessário à investigação e quantificação destes efeitos em nosso meio. O objetivo deste trabalho foi realizar o biomonitoramento do ar da área urbana de nove cidades situadas na mesorregião sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul: Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Bela Vista, Coronel Sapucaia, Laguna Caarapã, Maracaju, Naviraí e Ponta Porã durante o período de agosto de 2015 a agosto de 2016. Como espécie biosensora foi utilizada a *Tradescantia pallida*, por meio do bioensaio de Trad-MCN e análises de parâmetros anatômicos foliares. Os resultados evidenciaram que as cidades com maiores intensidades de fluxo veicular também apresentam alterações anatômicas e mutagênicas em folhas de *T. pallida*. O índice estomático é menor quando exposta em ambiente de alto fluxo veicular, elevada temperatura e altitude. Os tecidos foliares avaliados demonstraram uma tendência a afinamento quando se encontram expostos ao tráfego de veículos. Podemos inferir uma possível resposta biológica a redução da espessura de tecidos e índice estomático como uma adaptação para impedir o deslocamento de gases nocivos no interior da folha. Os dados levantados neste estudo podem auxiliar no planejamento urbano e ambiental das cidades envolvidas, bem como contribuir com estudos futuros.

Palavras Chave: Biosensor, Estômatos, Micronúcleos, Trapoeraba roxa.

Abstract

The State of Mato Grosso do Sul is currently in a new phase in its economic structure. Previously, the main activity was agriculture, today the South-Mato Grosso economy has advanced in agriculture, ecotourism, pulp and sugar-alcohol production. One of the consequences of this diversified growth is the largest number of sources emitting pollutants, whether stationary or mobile. Thus, the harmful effects of atmospheric pollution on the health of the local population is a concern, which is necessary for the investigation and quantification of these effects in our environment. The objective of this work was to perform air biomonitoring of the urban area of nine cities located in the southwest mesoregion of the state of Mato Grosso do Sul: Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Bela Vista, Coronel Sapucaia, Laguna Caarapã, Maracaju, Naviraí and Ponta Porã during the period from August 2015 to August 2016. *Tradescantia pallida* was used as a biosensor species through the Trad-MCN bioassay and analyzes of foliar anatomical parameters. The results showed that cities with higher vehicular flow intensities also present anatomical and mutagenic changes in *T. pallida* leaves. The stomatal index is lower when exposed in an environment of high vehicular flow, high temperature and altitude. The evaluated foliar tissues showed a tendency to thinning when exposed to vehicular traffic. We can infer a possible biological response to the reduction of tissue thickness and stomatal index as an adaptation to prevent the displacement of noxious gases within the leaf. The data collected in this study can aid in the urban and environmental planning of the cities involved, as well as contribute to future studies.

Keywords: Biosensor, Stomata, Micronucleus, Purple trapoeraba

INTRODUÇÃO

Atualmente, em uma perspectiva global discute-se muito sobre a qualidade do ar. Alguns poluentes são originados por fontes naturais, no entanto, a maior quantidade de poluentes presentes na atmosfera é de origem antrópica (CETESB, 2006). Logo, os centros urbanos são os que mais contribuem para esta situação por apresentarem inúmeras fontes emissoras de poluentes, tanto fontes móveis (veículos automotores) quanto estacionárias (atividades industriais) (CETESB, 2002).

Os seres humanos não são os únicos afetados por poluentes atmosféricos. Estudos relatam danos genéticos em animais, plantas e microrganismos (MARCELO, 1999; MORAIS et al., 2010; CRISPIM et al., 2014; SPÓSITO et al., 2017). Logo, os seres vivos podem ser utilizados como bioindicadores da poluição dos ambientes onde estão inseridos, mostrando por meio de alterações morfoanatômicas, fisiológicas e genotóxicas os efeitos da poluição. Esta abordagem metodológica é denominada como monitoramento biológico, biomonitoramento ou bioindicação (SAVÓIA et al., 2008). Torna-se importante observar que grande parte dos métodos físico-químicos realizados são de alto custo financeiro (GOMBERT et al., 2006) e assim, o uso de plantas para o biomonitoramento, além de fácil implantação no campo e menores custos, apresentam respostas concisas de um fator analisado ou da interação de vários fatores (FALLA et al., 2000; BALASOORIYA et al., 2009).

A *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom é uma planta da família Commelinaceae, herbácea, com folhas lanceoladas e suculentas, nativa da América do Norte e Central (México e Honduras). Apresenta distribuição cosmopolita, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais e com florações durante o ano inteiro (JOLY, 1977). Conhecida popularmente como Trapoerabão, Trapoeraba roxa ou Coração Roxo (LORENZI e SOUZA, 2001) é largamente usada como planta ornamental em jardins e canteiros de rodovias e estradas, apresentando resistência natural às intempéries da natureza, além de fácil propagação e manejo (SUYAMA et al., 2002). No Brasil, alguns estudos apresentam bons resultados com a utilização de *T. pallida* no monitoramento da poluição atmosférica (CARVALHO-OLIVEIRA et al., 2005; CARRERAS et al., 2006).

Em estado de Mato Grosso do Sul, estudos utilizando a *T. pallida* como espécie bioindicadora foram realizados por Crispim et al. em 2012 e 2014, nos quais avaliaram a capacidade genotóxica do ar, por meio do teste de micronúcleo e a capacidade de

alteração morfológica dos estômatos, na cidade de Dourados e cidades da microrregião de Dourados, correlacionando com pontos de diferentes intensidade de tráfego veicular. Recentemente, um estudo mais detalhado desenvolvido por Spósito et al. (2017) em doze cidades da microrregião de Iguatemi, indicou que a baixa umidade relativa do ar somada as elevado fluxo veicular aumenta significativamente os danos genéticos em *T. pallida*.

O crescimento econômico regional de Mato Grosso do Sul decorreu da expansão e aumento das atividades de base econômica focadas no setor primário da economia. Com este trabalho procuramos verificar as condições atmosféricas da mesorregião sudoeste do estado e com isso avaliar possíveis riscos a saúde da população local, levando conhecimento de causa e efeito destas condições para a comunidade em geral e desta forma contribuir com as informações já publicadas.

REVISÃO DE LITERATURA

Poluição atmosférica.

A atmosfera terrestre é composta por nitrogênio (78,10%) oxigênio (20,94), argônio (0,9%), dióxido de carbono (0,03%) e outros gases em pequenas concentrações, que somados representam 0,003 %. Podemos encontrar vapor de água, aerossóis e clorofluorcarbonetos. A composição da atmosfera terrestre é modificada por diversos processos naturais, tais como: erupções vulcânicas, evaporação, ventos e decomposição de matéria orgânica. No entanto discute-se a participação direta e indireta das ações antrópicas no processo de alteração dos gases atmosféricos (RAVEN et al. 1998).

Desde os primórdios da civilização há dispersão de poluentes no meio ambiente, desde a queima da madeira para obtenção de energia e até tarde no século XIII o uso do carvão vegetal, que alavancou diversas atividades socioeconômicas (OGA et al., 2008). A Revolução Industrial, além do desenvolvimento econômico também trouxe sérias implicações para os ecossistemas, o que influenciou na saúde e no bem estar da população (LIMA, 2007). Em 1911, morreram 150 pessoas devido à fumaça produzida pela queima do carvão e nos Estados Unidos, em 1948, na cidade de Donora no estado da Pensilvânia a poluição atmosférica matou 30 pessoas e deixou cerca de 6 mil internadas com problemas respiratórios (BRAGA et al., 2001).

Em centros urbanos, as principais fontes de emissão de gases poluentes são as indústrias (fonte estacionária) e os veículos automotores (fonte móvel) (SALDIVA, et al., 2002). Os gases provenientes da queima de combustíveis fósseis tem uma

participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente em grandes centros urbanos (STERN et al., 1984; BAIRD, 2002).

Nos últimos trinta anos, estudos identificaram os grupos suscetíveis às características físico-químicas dos poluentes do ar e dos principais efeitos adversos atribuídos à sua exposição (SALDIVA et al., 2002). Os poluentes gasosos e o material particulado inalável gerados a partir da queima de combustíveis fósseis apresentam efeitos diretos sobre o sistema respiratório, em especial de crianças e idosos. Esses efeitos têm sido medidos por meio elevado número de atendimentos em pronto-socorro (BRAGA et al., 2001), internações hospitalares (LIN et al., 1999) e mortalidade (SCHWARTZ e MARCUS, 1990; MARTINS et al., 2002).

De acordo com a Resolução nº 3 de 28 de agosto 1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990), é considerado poluente do ar: “(...) qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e a flora (...) e as atividades normais da comunidade.” Observa-se os padrões estabelecidos por essa resolução na tabela 1.

Tabela 1- Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 3/90.

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400	800	1.000

Outro conceito para o termo poluente pode ser definido como: substâncias químicas encontradas no meio ambiente, em concentrações suficientemente altas para prejudicar pessoas ou organismos. Sendo assim, a poluição do ar, ou poluição atmosférica, é a presença desses componentes na atmosfera em condições capazes de alterar o ambiente biótico e abiótico (BAKONYIA et al., 2004; MILLER, 2011).

Com o propósito de facilitar a divulgação dos dados da qualidade do ar, a CETESB, desde 1981, utiliza uma ferramenta denominada índice da qualidade do ar. Cada poluente medido apresenta um cálculo, onde o valor encontrado recebe uma qualificação, realizada de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Índices de classificação da qualidade do ar de acordo com CETESB.

Qualidade	Índice	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O³ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO² ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO² ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Boa	0-50	0-50	0-80	0-4,5	0-100	0-80
Regular	51-100	50-150	80-160	4,5-9	100-320	80-365
Inadequada	101-199	150-250	160-200	9-15	320-1130	365-800
Má	200-299	250-420	200-800	15-30	1130-2260	800-1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

A poluição atmosférica tem afetado a saúde da população, mesmo quando seus níveis se encontram aquém do que determina a legislação vigente. As faixas etárias mais atingidas são as crianças (LIN et al., 1999; BRAGA et al., 2001) e os idosos (SCHWARTZ e MARCUS, 1990; MARTINS et al., 2002) grupos bastante suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição.

Biomonitoramento

A utilização de organismos para indicar condições ambientais tem sido relatado ao longo da história, com destaque no período da Revolução Industrial (Século XIX) em que ocorreram mudanças ambientais intensas. A utilização de canários dentro de minas de carvão e a observação de presença ou ausência de líquens para monitorar a qualidade do ar foram exemplos de biomonitoramento realizados neste período. Altas concentrações de monóxido de carbono podem causar injúrias em ambas as espécies, servindo como um alerta as pessoas para evitar possíveis danos à saúde (CAIRNS JR. e PRATT, 1993).

Organismos que são capazes de fornecer informações sobre a qualidade do seu ambiente são chamados de bioindicadores, os quais são escolhidos por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros, como poluição orgânica ou outros tipos de poluentes (WASHINGTON, 1984). O conjunto de reações de um indivíduo ou uma comunidade em relação a um estímulo ou a um conjunto de estímulos denomina-se “resposta biológica” (ARMITAGE, 1995).

A ação que utiliza organismos vivos para avaliar o comportamento do(s) poluente(s) no ambiente é denominada biomonitoramento ou bioindicação (LIMA, 2001). Bioindicação ou biomonitoramento foram termos definidos por Markert (1993) como o uso de um organismo (uma parte do organismo ou uma sociedade de organismos) para se obter as informações sobre a qualidade de seu ambiente ou parte dele. Biomonitoramento é a observação contínua de uma área com ajuda de bioindicadores, os quais, neste caso, devem ser chamados de biomonitores.

De acordo com Ellenberg (1991) e Falla et al. (2000) o biomonitoramento pode ser classificado em ativo (quando é introduzido a uma situação de possível contaminação) ou passivo (quando o organismo é encontrado em um local supostamente impactado). Existem situações específicas em que é recomendado o uso do biomonitoramento para melhores avaliações. De acordo com Silva et al. (2003), são elas: quando espécies nativas estão ameaçadas; quando há implicações para a saúde humana quanto ao consumo de organismos potencialmente afetados; quando existe o interesse de conhecer a qualidade ambiental.

No monitoramento ambiental podem-se utilizar organismos simples e/ou complexos, desde que a biologia destes seja conhecida. Por meio do biomonitoramento passivo são observados os efeitos negativos dos poluentes sobre os vegetais residentes nas áreas com fonte de poluição iminente (HAWKSWORTH, 1992; BOUBEL et al., 1994).

Bioindicador vegetal

Em 1866, Nylander correlacionou a poluição do ar com o desaparecimento dos líquens. De acordo com Nieboer et al. (1972) e Seaward (1977) líquens são indicadores biológicos por ter capacidade de absorver elementos radioativos e íons metálicos. A partir dessas informações, muitos trabalhos foram produzidos mapeando os líquens em áreas urbanas (SOMMERFELDT e JOHN, 2000; MUNZI et al., 2007; MARTINS et al., 2008).

No Brasil, estudos de biomonitoramento com vegetais são desenvolvidos utilizando uma variedade de bioindicadores. O musgo *Sphagnum sp.* por exemplo, tem a capacidade de bioacumular os poluentes como metais pesados e enxofre (VINGIANI et al., 2004; GIORDANO et al., 2005). A bromélia *Tillandsia usneoides* responde a presença de metais pesados no ar atmosférico, sendo capaz de reter em sua superfície escamosa partículas microscópicas de metais pesados e poluentes, capazes de afetar a saúde humana (FIGUEIREDO et al., 2004).

A *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae) é empregada no Programa de Biomonitoramento do Ar na região do Pólo Petroquímico de Camaçari-Ba (PPC) pois é acumuladora de enxofre, um dos poluentes mais presentes nas cidades de tráfego automotivo intenso (LIMA et al., 2000). No primeiro Programa de Biomonitoramento da Qualidade do Ar da cidade de Salvador-BA e no projeto EuroBionet a espécie bioindicadora é a *Nicotiana tabacum* (Solanaceae) devido a capacidade de responder com alterações foliares aos gases atmosféricos (PEDROSO e ALVES, 2008).

Para uma planta ser um bioindicador, é necessário responder aos fatores avaliativos (contaminantes e/ou poluentes). O flúor é um poluente que causa efeitos visíveis em vegetais. Folhas de *Byrsonimia crassifolia* L. (Malpiguiaceae) apresentam alterações químicas e bioquímicas quando expostas ao flúor (PAULA, 2005). Assim, também responde a gramínea *Panicum maximum* L. demonstrado em experimentos com chuvas simuladas (CHAVES, et al. 2002). Espécie de alto valor econômico como *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) e *Coffea arabica* (Rubiaceae) apresentam alterações morfoanatômicas foliares e fisiológicas quando submetidas a condições de grandes concentrações de flúor (ARNDT, et al. 1995; FAHL, 2003). São encontrados trabalhos de monitoramento ambiental realizados por Bündchen (2001) com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), com *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) por Mazzoni-Viveiros e Trufem (2004) e com *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) por Alves et al. (2008).

No entanto, entre todas as espécies de vegetais destaca-se o gênero *Tradescantia*, padronizado internacionalmente no protocolo redigido por Ma em 1981, demonstrando a eficácia do teste de micronúcleo (Trad-MCN) o qual observa o surgimento de micronúcleos nas células do grão de pólen de plantas deste gênero, indicando a presença de substâncias com potencial mutagênico.

O bioensaio da mutação do pelo estaminal de *Tradescantia* (Trad-SHM - *Tradescantia* Stamen Hair Mutation) é um teste de mutagênese que tem fornecido

informações importantes sobre os efeitos genéticos de diferentes formas de contaminação. Estudos realizados por Santanna (2003) e Ferreira (2004) com este bioensaio forneceu respostas consistentes, confiáveis e precisas mesmo em baixos níveis de poluentes.

As plantas que estão constantemente expostas a poluentes ambientais absorvem, acumulam e integram esses poluentes em seus sistemas (SEYYEDNEJAD et al., 2010), assim, é capaz de alterar a sua estrutura para adaptar a uma condição ambiental específica (DICKISON, 2000).

Uma espécie vegetal afetada pela poluição ambiental pode apresentar diferentes características anatômicas (NEVEROVA et al., 2013; UKA et al., 2017). Dessa forma, as respostas das plantas bioindicadoras aos poluentes podem ser observadas tanto em nível macroscópico, através do aparecimento de cloroses, necroses, queda de folhas ou diminuição no seu crescimento, como pode ocorrer em nível genético, estrutural, fisiológico ou bioquímico, não sendo visualmente observadas (ELLENBERG, 1991).

O tamanho da folha, a espessura e a densidade dos estômatos são as principais características morfológicas e anatômicas que mostram as diferenças entre as plantas que crescem em ambientes com diferentes condições atmosféricas (ELEFTHERIOU, 1987; ALVES et al., 2001; 2008). Estes parâmetros da folha podem determinar se a planta é tolerante ou sensível a poluentes urbanos (PEDROSO, 2006; ALVES et al., 2008 e CABRERA et al., 2009).

No estado de Mato Grosso do Sul um recente estudo realizado por Sposito et al., (2017) mostra que houve alterações mutagênica e genotóxicas em *Tradescantia pallida* proveniente da poluição aérea. Em *T. pallida* os botões florais nem sempre são encontrados à campo enquanto as folhas ocorrem durante todo do ciclo biológico, tornando-se um marcador às mudanças da qualidade do ar do ambiente urbano, além disso, a amostragem e a análise dos parâmetros anatômicos é relativamente fácil e de baixo custo (EL-KHATIB e HOMEED, 2011).

Tradescantia pallida

O gênero *Tradescantia* possui aproximadamente 70 espécies e diversos híbridos distribuídos por toda América (PANIGO et al., 2011). A planta *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* pertencente pertence às Commelinaceae nativa da América do Norte e da América Central (México e Honduras) de porte herbáceo, com folhas lanceoladas, presença de tricomas e inflorescência que se origina no meristema

apical dos ramos (PANIGO et al., 2011; SOUZA e LORENZI, 2012) tem sido utilizada em diversos modelos experimentais para detecção de danos morfofisiológicos e genéticos, por ser uma planta sensível a poluentes atmosféricos (SASAMORI et al. 2012, BLUME et al. 2014). É uma espécie e muito utilizada como ornamental em canteiros de praças e avenidas devido à sua capacidade de adaptação às condições ambientais (CHIMPAN e SIPOS, 2009). Amplamente utilizada em análises mutagênicas por meio do bioensaio Trad-MCN, descrito por Ma et al. (1978) que baseia-se na formação e contagem de micronúcleos (MCN) em células-mãe dos grãos de pólen na fase de tétrades. Os MCN são estruturas provenientes de cromossomos inteiros ou de fragmentos cromossômicos que se perdem na divisão celular e, por isso, não são incluídos no núcleo das células filhas, permanecendo no citoplasma das células interfásicas (MA, 1983).

OBJETIVO

Objetivo Geral

Biomonitorar a qualidade do ar na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul, usando como bioindicador plantas da espécie *Tradescantia pallida*.

Objetivos Específicos

Avaliar o potencial mutagênico do ar em tétrades do grão de pólen de *Tradescantia pallida* em cidades da mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul.

Determinar as quais características anatômicas foliares de plantas da espécie *Tradescantia pallida* que respondem a variação no fluxo veicular e nas condições atmosféricas na mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T. & LOBO, D.J.A. (2001). Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, 24(4): 567-576.
- ALVES, E.S.; TRESMONDI, F.; LONGUI, E. L. (2008). Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 22(1): 241-8.
- ARMITAGE, P. D. (1995). **Behaviour and ecology of adults**. In: The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges (P. D. Armitage, P. S. Cranston & L. C. V. Pinder, ed.), pp. 194-224, London: Chapman & Hall.
- ARNDT, U.; FLORES, F.; WEINSTEIN, L. (1995). **Efeitos do flúor sobre as plantas**. 1. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 155p.
- BAIRD, C. (2002). **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre, Bookman.
- BALASOORIYA, B.L.W.K.; SAMSON, R.; MBIKWA, F.; VITHARANA, W.A.U.; BOECKX, P.; VAN MEIRVENNE, M. (2009). Biomonitoring of urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. **Environmental and Experimental Botany**, 65(2): 386–394.
- BAKONYIA, S. M. C.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA. A. L. F. (2004). Air pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil. **Revista Saúde Pública**, 38(5):695-700.
- BLUME, K. K.; COSTA, G. M.; CASSANEGO, M. B. B.; DROSTE, A. (2014) Genotoxicidade do ar em área urbana na região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, 12(3): 158-163.
- BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; MENEZES, J. J. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; LIN, C. A. (2001). Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. **Pediatric Pulmonology**, 31(2):106-13.
- BOUBEL, R.W.; FOX D.L.; TURNER, D.B.; STERN, A.C. (1994). **Fundamentals of air pollution**. San Diego: Academic Press; 574 p.
- BÜNDCHEN, M. (2001). **Respostas morfo-anatômicas e fisiológicas em folhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. (Araucariaceae) sujeitas à poluição urbana** [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- CABRERA, C. N.; GELSI, G. A.; ALBORNOZ, P. L.; ARIAS, M. E. (2009). Anatomia foliar de *Ficus maroma* (Moraceae) y análisis de hojas expuestas a la polución atmosférica em la provincia de Tucumán (Argentina). **Lilloa** 46: 34-42.

CAIRNS, J.; PRATT, J. R. (1993). A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. **In:** Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates (D. M. Rosenberg & V. H. Resh, ed.), pp. 10-27, New York: Chapman & Hall.

CARRERAS, H.A.; PIGNATA, M.L.; SALDIVA P.H.N. (2006). In situ monitoring of urban air Córdoba, Argentina using the *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) bioassay. **Atmospheric Environmental**, 40(40):7824-7830.

CARVALHO-OLIVEIRA, R.; POZO, R.M.K.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.; SALDIVA, P.H.N. (2005). Diesel emissions significantly influence composition and mutagenicity of ambient particles: a case study in São Paulo, Brazil. **Environmental Research**, 98(1):1-7.

CETESB–COMPANHIA, D. T. D. S. (2002). **Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo / Cetesb – São Paulo**. 140p. Série de relatórios / Secretaria do Estado do meio ambiente.

CETESB–COMPANHIA, D. T. D. S. (2006). AMBIENTAL. **Biogás: pesquisas e projetos no Brasil**. São Paulo: SMA.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. (1990). Resolução nº 03, de 28/09/1990. Ministério do Meio Ambiente. <<http://www.conama.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>> (acesso em 11/05/2017).

CHAVES, A. C. F.; SILVA, E. A. M.; AZEVEDO, A. A.; CANO, M. A. O. & MATSUOKA. K. (2002). Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (capim-rhodes) – Poaceae. **Acta Botânica Brasílica**, 16(4): 395-406.

CHIMPAN, C.; SIPOS, M. (2009). Anatomy of the vegetative organs of *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. **Biharean Biologist**, 3(1):1-4.

CRISPIM, B. A.; SPÓSITO, J. C.V.; MUSSURY, R. M.; SENO, L. O.; GRISOLIA, A. B. (2014). Effects of atmospheric pollutants on somatic and germ cells of *Tradescantia pallida* (Rose) DR HUNT cv. *purpurea*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86(4): 1899-1906.

CRISPIM, B. A.; VAINI, J. O.; GRISOLIA, A. B.; TEIXEIRA, T. Z.; MUSSURY, R. M.; SENO, L. O. (2012). Biomonitoring the genotoxic effects of pollutants on *Tradescantia pallida* (Rose) DR Hunt in Dourados, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 19(3):718-723.

DICKISON, W. C. (2000). **Integrative Plant Anatomy**. Harcourt Academic Press, San Diego.

ELEFThERIOU, E. P. (1987). Changes in the endoplasmic reticulum during sieve element differentiation in *Triticum aestivum*. **Annals of botany**, 60(6), 713-721.

EL KHATIB, K. M.; HAMEED, R. A. (2011). Development of Cu₂O/Carbon Vulcan XC-72 as non-enzymatic sensor for glucose determination. **Biosensors and Bioelectronics**, 26(8), 3542-3548.

ELLENBERG, H. (1991). Bioindicators and biological monitoring. **In: Biological monitoring: signals from the environment.**

FALLA, J.; LAVAL- GILLY, P.; HENRYON, M.; MORLOT, D.; FERARD, J.F. (2000). Biological air quality monitoring: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, 64(3):627-644.

FAHL, I. A. F. (2003). **Caracterização geográfica da dispersão do flúor, através de teores foliares, em espécies vegetais de interesse econômico, a partir do pólo cerâmico de Santa Gertrudes-SP.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 100p.

FERREIRA, M. I. (2004). **Avaliação do potencial genotóxico da poluição atmosférica no Parque do Ibirapuera, São Paulo, com o bioensaio TRAD-SHM da Tradescantia.** [Dissertação] Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, p. 99 .

FIGUEIREDO, A.; ALCALÁ, A.; TICIANELLI, R.; DOMINGOS, M.; SAIKI, M. (2004). The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 259(1), 59-63.

GIORDANO, S.; ADAMO, P.; SORBO, S.; VINGIANI, S. (2005). Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags. **Environmental Pollution**, 136 (3):432 - 442.

GOMBERT, S.; ASTA, J.; SEAWARD, M.R.D. (2006). Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France). **Ecological Indicators**, 6(2):429-443.

HAWKSWORTH, D. L. (1992). **The long-terms effects of air pollutants on lichen communities in Europe and North America.** Cambridge.

JOLY, A.H. (1977). **Botânica: Introdução à taxonomia vegetal.** Nacional, São Paulo.

LIMA, E. S. (2007). **Capacidade de *Tradescantia pallida*(ROSE) DR Hunt cvPurpurea Boom para biomonitoramento do potencial clastogênico do ozônio.** 128f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade vegetal e meio ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.

LIMA, J. S. (2001). Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. **In: N. B. M. Maia, H. L.; Barella, W. (Ed.). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** São Paulo: Educ/Comped/Inep, Processos biológicos e o biomonitoramento.

LIMA, J. S.; FERNANDES, E. B.; FAWCETT, W. N. (2000). *Mangifera indica* and *Phaseolus vulgaris* in the Bioindication of Air Pollution in Bahia, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 46 (3):275-278.

LIN, A. C.; MARTINS, M. A.; FARHAT, S. L.; POPE, C. A.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; ANASTÁCIO, M. V. (1999). Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. **Paediatric and Perinatal Epidemiology**, 13(4):75-88.

LORENZI, H.; H.M. SOUZA. (2001). **Plantas Ornamentais no Brasil: Arbustivas, Herbáceas e Trepadeiras**. 3 ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 1.088p

MA, T.H. (1983). *Tradescantia micronucleus* (Trad-MCN) test of environmental clastogens, **In: KOLBER, A.R.; WONG, T.K.; GRANT, L.D.; DEWONKI, R.S. & HUGHES, T.J. (Eds). In vitro toxicity testing of environmental agents, current and future possibilities**, New York: Plenum 191-214.

MA, T.H. (1981). *Tradescantia Micronucleus Bioassay and Pollen Tube Chromatid Aberration Test for in Situ Monitoring and Mutagen Screening*. **Environmental Health Perspectives**, v. 37, p.35.

MA, T.H.; SPARROW, A.H.; NAUMAN, A.F. (1978). Effect of 1,2 dibromoethane (DBE) on meiotic chromosomes of *Tradescantia*. **Mutation Research**, 58: 251-258.

MARCELO, R.M. (1999). Uso de brânquias de peixes como indicadores de qualidade das águas. **Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, 1(1):63-76

MARKERT, B. A. (1993). **Plants as biomonitors: Indication for heavy metals in the terrestrial environment**. Weinheim, VHC.

MARTINS, L. C; LATORRE, M. R. D. O; CARDOSO, M. R. A; GONÇALVES, F. L. T; SALDIVA, P. H. N; BRAGA, A. L. F. (2002). Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. **Revista Saúde Pública**, 36(1):88-94.

MARTINS, S. M. A.; KAFFER, M. I.; LEMOS, A. (2008). Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoeletrônica, Rio Grande do Sul, Brasil. **Hoehnea**, 35(3):425-433.

MAZZONI-VIVEIROS, S. C.; TRUFEM, S. F. B. (2004). Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de mata atlântica: associações micorrízicas e morfologia. **Revista Brasileira de Botânica**, 27(2):337-48.

MILLER, T. G. (2011). **Ciência ambiental**. Tradução da 11ª edição norte-americana. São Paulo.

MORAIS, G. R.; SILVA, M. A. da; CARVALHO, M. V. de; SANTOS, J. G. S. dos; DOLINGER, E. J. O. Von; BRITO, D. Von D. (2010). Internal air quality in Uberlândia a Brazilian college. **Bioscience Journal**, 26(2):305-310.

MUNZI, S.; RAVERA, S.; CANEVA, G. (2007). Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. **Environmental Pollution**, 146 (2): 350-358.

NEVEROVA, O. A.; LEGOSHCHINA, O. M.; BYKOV, A. A. (2013). Anatomy of leaves of *Betula pendula* (Roth.) affected by air emissions in industrial area of Kemerovo City. **Middle-East Journal of Scientific Research**, 17(3): 354-358.

NIEBOER, E.; AHMED, H.M.; PUCKETT, K.J.; RICHARDSON, D.H.S. (1972). The heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. **The Lichenologist**, 5(3-4):292-304.

NYLANDER, W. (1866). Les Lichens du Jardin du Luxembourg. **Bulletin Societe Botanique de France**, 13(7):364-372.

OGA, S.; CAMARGO, M.A.; BATISTUZZO, J.A.O. (2008). **Fundamentos de toxicologia**. 3ª edição. São Paulo, SP: Atheneu, 677p.

PANIGO, E.; RAMOS, J.; LUCERO, L.; PERRETA, M. & VEGETTI, A. (2011) The inflorescence in Commelinaceae. **Flora**, 206: 294-299.

PAULA, M.T. (2005). Influência do flúor sobre parâmetros químicos e bioquímicos de folhas de muruci (*Byrsonima crassifolia* [L.] Rich.). **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n.43:137-148.

PEDROSO, A. N. V. (2006). Avaliação estrutural de *Nicotiana tabacum*“Bel W3” sob diferentes níveis de contaminação atmosférica. 68f . Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.

PEDROSO, A.N.V.; ALVES E.S. (2008). Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. **Acta Botânica Brasilica**, 22(1):21-8.

RAVEN, P.H.; BERG, L.R.; JOHNSON, G.B. (1998). **Environment**. Fort Worth, Saunders College Publishing.

SALDIVA, P.H.N.; BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A. (2002). Health effects of ambient levels of air pollution. **Population and environment in Brazil: Rio**, v. 10.

SANT'ANNA, E.T.G. (2003). **Urban air pollution in the city of São Paulo and mutagenesis: evaluation of risks using plant bioindicators of the genus Tradescantia**. Tese (Doutorado em Fisiopatologia Experimental). Universidade de São Paulo. São Paulo. 150p.

SASAMORI, M. H.; ENDRES-JÚNIOR, D.; BARBOSA, M. D.; SCHMITT, J. L.; DROSTE, A. (2012) Active monitoring of urban air with a simple short-term *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay under different temperature conditions. **Revista Brasileira de Biociências**, 10(3): 298-302.

SAVÓIA, E.J.L.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T. BRUMATI, F.; SALDIVA, P.H.N. (2008). Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and

polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72(1):255-260.

SCHWARTZ, J.; MARCUS, A. (1990). Mortality and air pollution in London: a time series analysis. **American Journal of Epidemiology**, 131(5):185-94.

SEAWARD, M.R.D. (1977). **Lichen Ecology**. London, Academic Press, 550p.

SEYYEDNEJAD, S. M.; KOOCHAK, H.; DARABPOUR, E.; MOTAMEDI, H. (2010). A survey on *Hibiscus rosa-sinensis*, *Alcea rosea* L. and *Malva neglecta* Wallr as antibacterial agents. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, 3(5), 351-355.

SILVA, J., HEUSER, V., ANDRADE, V. (2003). Biomonitoramento Ambiental. In: J. Silva; B. Erdtmann; J. A. P. Henriques. *Genética Toxicológica*. Porto Alegre: Alcance. p. 165-180.

SOMERFELDT, M.; JOHN, V. (2000). Evaluation of a method for the reassessment of air quality by lichen mapping in the city of Izmir, Turkey. **Turkey Journal of Botany**, 25(2): 45-55.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. (2012). **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 768 p.

SPÓSITO, J.C.V., DO AMARAL CRISPIM, B., ROMÁN, A.I., MUSSURY, R.M., PEREIRA, J.G., SENO, L.O., & GRISOLIA, A.B. (2017). Evaluation the urban atmospheric conditions in different cities using comet and micronuclei assay in *Tradescantia pallida*. **Chemosphere**, 175: 108-113

STERN, A.C., BOUBEL, R.W., TURNER, D.B., FOX, D.L. (1984). **Fundamentals of Air Pollution**. 2 ed. Orlando, Academic Press, Inc.

SUYAMA, F., GUIMARÃES, E.T., LOBO, D.J.A.; SALDIVA, P.H.N. (2002). Pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and *Tradescantia pallida* var. *purpurea* are equally sensitive to the clastogenic effects of x-rays. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 35(1):127-129.

WASHINGTON, H.G., 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. **Water Research**, 18(6):653-694

UKA, U. N.; HOGARH, J.; BELFORD, E. J. D. (2017). Morpho-Anatomical and Biochemical Responses of Plants to Air Pollution. **International Journal of Modern Botany**, 7(1): 1-11.

VINGIANI, S.; ADAMO, P.; GIORDANO, S. 2004. Sulphur, nitrogen and carbon content of *Sphagnum capillifolium* and *Pseudevernia furfuracea* exposed in bags in the Naples urban area. **Environmental Pollution**, 129 (3): 145-158.

Estimativa da poluição veicular biomonitorada pelo bioensaio TRAD-MCN em diferentes gradientes de altitude

ROCHA, A. do N.^a; CANDIDO, L. S.^b; PEREIRA, J. G.^b; MUSSURY, R. M.^{a,b*}

¹ Laboratory of Botanical Application. Programa de Pós Graduação em Biologia Geral/Bioprepecção. Faculty of Biological and Environmental Sciences. Federal University of Grande Dourados, Rodovia Dourados-Itahum, KM 12, 79.800-000, Dourados, Mato Grosso Do Sul, Brazil.

² Faculty of Biological and Environmental Sciences. Federal University of Grande Dourados, Rodovia Dourados-Itahum, KM 12, 79.800-000, Dourados, Mato Grosso Do Sul, Brazil.

Corresponding author. E-mail address: maramussury@ufgd.edu.br (R.M. Mussury). Telephone: +55 (67)17 3410-2221

Resumo

No presente estudo, a mutagenicidade foi investigada em *Tradescantia pallida* expostas ao tráfego de veículos em diferentes cidades, situadas em diferentes altitudes, objetivando por meio do bioensaio Trad-MCN mapear áreas de risco a população utilizando-se a técnica de interpolação de Kernel. Foi realizado o teste de micronúcleo (Trad-MCN) em botões jovens de *T. pallida* coletadas no período entre agosto de 2015 a agosto de 2016 em nove cidades da mesorregião do Mato Grosso do Sul, Brasil com diferentes intensidades de fluxo veicular. Foram avaliados os parâmetros meteorológicos e os veículos foram contados para determinar o tráfego de veículos em cada cidade. A partir do bioensaio realizado, relacionando as variáveis ambientais e altitude e utilizando-se a técnica de interpolação de Kernel, foi possível mapear áreas de risco a população sendo a maior frequência de alterações mutagênicas encontrada nas cidades com maior intensidade de tráfego de veículos motorizados, sendo elas Ponta Porã, Amambai, Naviraí e Maracaju. Ao longo do biomonitoramento observou-se que os períodos de agosto e outubro de 2015 apresentaram as maiores frequências de micronúcleos independente da cidade avaliada, indicando que estes foram períodos de risco para a população. Observou-se correlação significativa e positiva para altitude e frequência de MCN ($r = 0,2427$; $p \leq 0,05$) e negativa para umidade relativa ($r = -0,189$; $p \leq 0,05\%$), indicando uma tendência de maior frequência de MCN em localidades com baixa umidade relativa e maiores altitudes.

Palavras-Chave: Bioindicador; Micronúcleo; Veículos automotores;

Abstract

In the present study, mutagenicity was investigated in *Tradescantia pallida* exposed to traffic of vehicles in different cities, located at different altitudes, aiming by means of the Trad-MCN bioassay to map areas of risk to the population using the Kernel interpolation technique. The micronucleus test (Trad-MCN) was carried out on young *T. pallida* buds collected from August 2015 to August 2016 in nine cities of the mesoregion of Mato Grosso do Sul, Brazil, with different intensities of vehicular flow. The meteorological parameters were evaluated and the vehicles were counted to determine the vehicular traffic in each city. It was possible to map areas of risk to the population from the bioassay, relating the environmental and altitude variables and using the Kernel interpolation technique. The highest frequency of mutagenic alterations was found in the cities with the highest traffic intensity of motor vehicles, being Ponta Porã, Amambai, Naviraí and Maracaju. Throughout the biomonitoring, it was observed that the periods of August and October of 2015 presented the highest frequencies of micronuclei independent of the evaluated city, indicating that these were periods of risk for the population. A significant and positive correlation was observed for altitude and MCN frequency ($r = 0.2427$; $p \leq 0.05$) and negative for relative humidity ($r = -0.189$; $p \leq 0.05\%$), indicating a trend of higher frequency of MCNs in locations with low relative humidity and higher altitudes.

Keywords: Bioindicator; Micronucleus; Vehicles.

INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) considera a poluição do ar como uma das principais ameaças à saúde humana, potencialmente levando a doenças cardiovasculares e respiratórias crônicas. Além disso, a poluição do ar prejudica a estabilidade genética e aumenta o risco de câncer (Lewtas 1993; Bostrom et al. 1994; Cohen et al. 2004), especialmente no sistema respiratório, e é significativamente maior nas áreas urbanas (Nyberg 2000; Cheng 2003; Bernstein et al. 2004).

A poluição aérea é consequência da crescente urbanização, desenvolvimento do setor agropecuário e densidade de tráfego de veículos automotivos sem o devido controle produzindo agentes genotóxicos que, quando liberados na atmosfera, combinam com outros compostos presentes no ar prejudicando a qualidade de vida da população (Vargas 2003; Claxton e Woodall 2007; Lanisticki et al. 2009; Pereira et al. 2010; Brito et al. 2013). O ar nas áreas urbanas contém uma série de partículas potencialmente cancerígenas tais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), benzeno e arsênico. Estas substâncias são o resultado da decomposição incompleta de combustíveis fósseis, produzida pelo tráfego e pela atividade industrial (Mišik et al. 2006).

Estudos em áreas urbanas indicam que muitos compostos mutagênicos presentes no ar na Ásia, Europa, América do Norte e América Latina vêm do diesel e gasolina automotivos, além de outras fontes de combustão (Claxton et al. 2004) e, entre estas fontes, os gases de escape dos motores diesel (IARC, 2013) e as emissões de carvão (IARC, 2010) estão entre os agentes carcinógenos humanos.

Especialmente na região Centro Oeste do Brasil o desenvolvimento econômico, está fortemente associado a atividades do setor agropecuário, destacando o estado Mato Grosso do Sul entre os dez estados mais produtivos do país no cultivo de algodão, cana-de-açúcar, milho e soja (IBGE, 2015). Em decorrência do escoamento de produtos agrícolas do sul do Mato Grosso do Sul para outros estados, o tráfego de veículos pesados aumentou, alterando a qualidade do ar, biomonitorado pelo ensaio utilizando *Tradescantia pallida* (TRAD-MCN) realizado por Crispim et al., (2012); Crispim et al., (2014) e Análise cometa por (Spósito et al. 2015, 2017).

O estudo de Crispim et al., (2012; 2014) e Spósito et al., (2015; 2017) realizado em cidades do Mato Grosso do Sul, encontrou frequência de micronúcleos maiores nas cidades de Dourados, Rio Brilhante e Caarapó, verificando que a intensidade de tráfego

veicular decorreu em danos no material genético e alterações na estrutura foliar de *T. pallida*.

Estudos comparando as cidades potencialmente expostas a poluentes do ar e as populações que vivem nessas áreas constituem verdadeiro banco de dados que podem ser usados para comparação em estudos populacionais, de qualidade de vida e de dinâmica das cidades.

Diante do exposto, objetivou-se estimar o potencial mutagênico do fluxo veicular das cidades localizadas em diferentes altitudes na mesorregião sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, por meio do bioensaio TRAD-MCN e mapear as cidades de maior risco a população.

MATERIAL E MÉTODOS

Locais de estudo.

O estudo foi realizado em nove cidades da mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul, Brasil, incluindo os municípios de Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Coronel Sapucaia, Bela Vista, Laguna Caarapã, Maracaju, Naviraí e Ponta Porã (Figura 1).

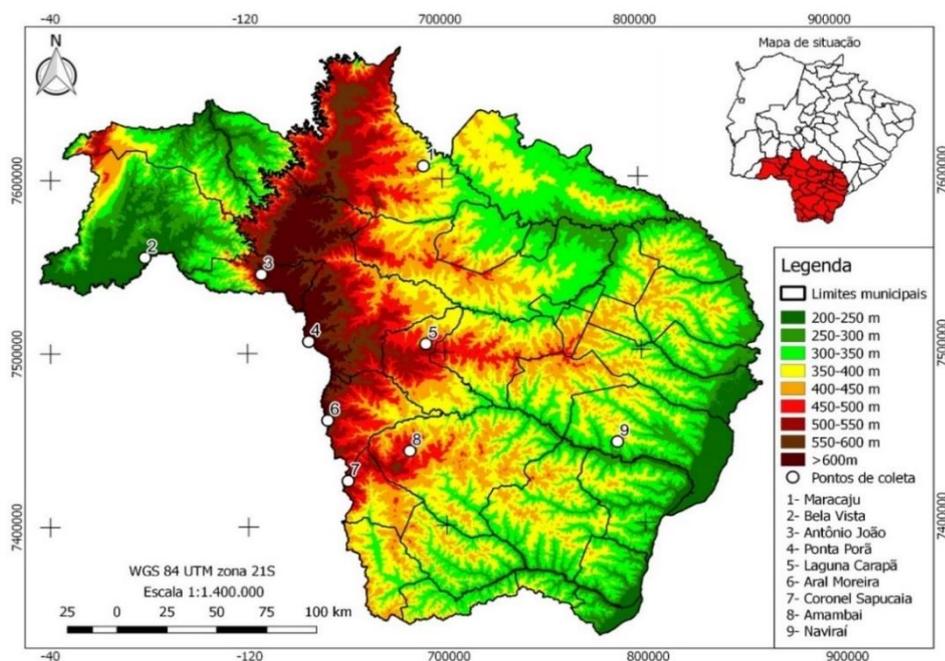


Figura 1. Mapa das altitudes das cidades avaliadas na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul destacando os pontos de amostragem.

TRAD-MCN

O teste TRAD MCN foi desenvolvido de acordo com o protocolo de Ma et al. (1994). Quinze botões florais jovens de *Tradescantia pallida* foram coletados bimestralmente, durante os meses de agosto, outubro e dezembro do ano de 2015, fevereiro, abril, junho e agosto do ano de 2016 de plantações ornamentais. As inflorescências foram fixadas em solução de Carnoy (3 álcool etílico: 1 ácido acético). Após 24 horas, as inflorescências foram transferidas para uma solução de álcool na concentração de 70%. Dos botões florais amostrados foram confeccionadas 6 lâminas para cada local seguindo a metodologia proposta por Ma (1981). A frequência de micronúcleos foi calculada pela observação de 300 tétrades por lâmina, utilizando microscópio óptico no aumento de 400x (Nikon YS2; Tokyo, Japan), e os resultados expressos em porcentagens (frequência de micronúcleos em 100 tetrádes).

Avaliação do fluxo veicular e condições ambientais.

O fluxo veicular foi obtido a partir da contagem dos veículos que circularam pelo ponto de coleta em cada dia de amostragem, sendo três vezes ao dia sendo das 8:00-9:00 horas da manhã, das 11:00-12:00 e das 17:00-18:00 horas da tarde, posteriormente foi calculada a média de fluxo veicular.

O mapa hipsométrico foi gerado com emprego de dados de modelo digital de elevação fornecida pelo projeto TOPODATA do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e processados no aplicativo SIG (Sistema de Informações Geográficas) Quantum Gis, versão 2.6. As faixas e altitude foram definidas em intervalos de 50 metros, à partir da cota base presente nos dados TOPODATA empregados.

O mapa de interpolação espacial dos pontos de coleta dos dados foi obtido pela dispersão da intensidade dos valores amostrados utilizando-se a técnica de interpolação de Kernel permitindo uma visão geral da poluição aérea nas cidades. Essa técnica gera uma superfície de densidade para a identificação visual de “áreas quentes”. Entende-se a ocorrência de uma área quente como uma concentração de eventos que indica de alguma forma a aglomeração em uma distribuição espacial.

Foi mensurada a temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR) e dados pluviométricos junto às estações meteorológicas (Tabela 1).

Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo 9 cidades x 7 épocas com 6 repetições. A frequência média de micronúcleo foi avaliada pelo teste F a 5% de probabilidade. Havendo diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade empregando-se o programa de análise estatística SAS (2014). Foi realizada análise de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e a frequência de micronúcleos. Posteriormente foi realizada análise de regressão da frequência de micronúcleo em relação ao fluxo de veículos motorizados.

Tabela 1. Dados coletados nas cidades analisadas: Altitude (Alt/metros); Média de Fluxo Veicular (F.V.); Média mensal da Umidade Relativa do ar % (UR/%); Média mensal da Temperatura (T °C); Média mensal de precipitação (PP/mm).

Cidades	Variáveis ambientais por época																												
	2005														2016														
	Inverno				Primavera				Verão				Outono				Inverno												
	Agosto		Outubro		Dezembro		Fevereiro		Abril		Junho		Agosto																
Alt.	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	
Amambaí	476,5	680,5	58	19,4	67	601	67	22,7	185	714,5	65	24,1	190	599	96	25	154	822,5	62	21,6	120	549,5	78	17,4	89	715,5	52	19	62
Antônio João	685,5	136,5	65	19,3	48	148,5	51	22,7	142	151,5	56	23	167	83	55	24,1	133	155,5	68	21,2	116	124	72	17,4	73	157	42	20	87
Aral Moreira	609,5	121,5	58	21,2	59	121,5	56	22,2	162	105,5	53	23,7	174	89,5	57	24	149	137,5	60	20,8	122	79,5	77	16,8	85	127,5	48	20	55
Bela Vista	206	182	67	19,4	61	176	62	25	135	163	75	26,1	181	146,5	64	26,9	88	196	65	23,9	123	141,5	76	19,6	83	155,5	40	22	62
Coronel Sapucaia	517,5	388	62	20,2	65	357	63	22,4	172	357	63	23,9	181	362	61	24,5	153	412	63	21,2	125	321,5	80	17	89	614	42	20	68
Laguna Caarapã	503,5	44,5	65	21,5	62	40	68	23,2	179	37,5	80	24,2	189	39	72	25,4	146	40,5	58	22,7	115	36,5	75	18,1	81	103,5	38	21	66
Maracaju	382	604,5	50	20,5	42	545,5	75	24,9	156	546,5	78	24,4	174	545,5	85	25,7	139	571,5	68	23,5	107	484	82	29,6	41	611,5	42	22	88
Naviraí	366	729,5	57	19,7	71	617	67	23,2	216	595,5	63	24,3	198	595	59	25,3	151	676,5	71	22,1	94	515,5	80	28,5	94	631,5	40	21	76
Ponta Porã	658	698	68	21,3	47	626,5	68	22,8	141	663,5	85	23	158	565,5	52	23,9	143	723,5	61	20,5	115	537,5	77	17,3	73	754,5	90	20	42
Controle	452	0	65	19,8	54	0	70	24,3	170	0	76	23,3	183	0	83	25,4	132	0	65	22,4	109	0	81	18,3	73	0	46	22	57

RESULTADOS

A frequência de micronúcleos foi significativamente influenciada tanto pelas cidades quanto pelas diferentes épocas avaliadas. No entanto, não houve significância para a interação entre os fatores cidade x época (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para frequência de MCN em 9 cidades e 7 épocas na mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul.

F.V	G.L	Quadrado Médio
Micronúcleo (MCN)		
Cidade	8	304.630952**
Época	6	378.116402**
Cidade x Época	48	32.390212 ^{ns}
Média Geral	-	5,94

não significativo ^{ns}, Significativo a 1% de probabilidade, **pelo teste F.

Ao analisarmos a variação na frequência de MCN nas tétrades de *T. pallida* entre as cidades, é possível observar três perfis diferentes de situação baseada na análise feita. Uma em que a frequência de MCN é elevada, compreendendo a cidade de Ponta Porã, um segundo grupo apresentando frequência de MCN menor e estatisticamente semelhantes entre si, compreendendo as cidades de Amambai, Naviraí, Maracaju e Bela Vista. O terceiro grupo seria representado pelas cidades com frequência de MCN baixas, sendo as cidades de Coronel Sapucaia, Antônio João, Aral Moreira e Laguna Caarapã (Figura 2A).

Entre as épocas, os meses de agosto e outubro do ano de 2015 apresentaram as maiores médias de frequência de MCN em todas as cidades, sendo que os meses de dezembro de 2015, fevereiro, abril e junho de 2016 apresentaram a menor frequência de micronúcleos independente da cidade (Figura 2B).

A média de veículos por hora, que circularam nas cidades, em ordem decrescente foi: Amambai com 669, Ponta Porã 653, Naviraí 623, Maracaju 559, Coronel Sapucaia 366, Bela Vista 166, Antônio João 137, Aral Moreira 112 e Laguna Caarapã 49. As cidades que apresentaram maior intensidade de tráfego de veículos motorizados também apresentaram maior média na frequência de micronúcleos em tétrades de *T. pallida* (Figura 3).

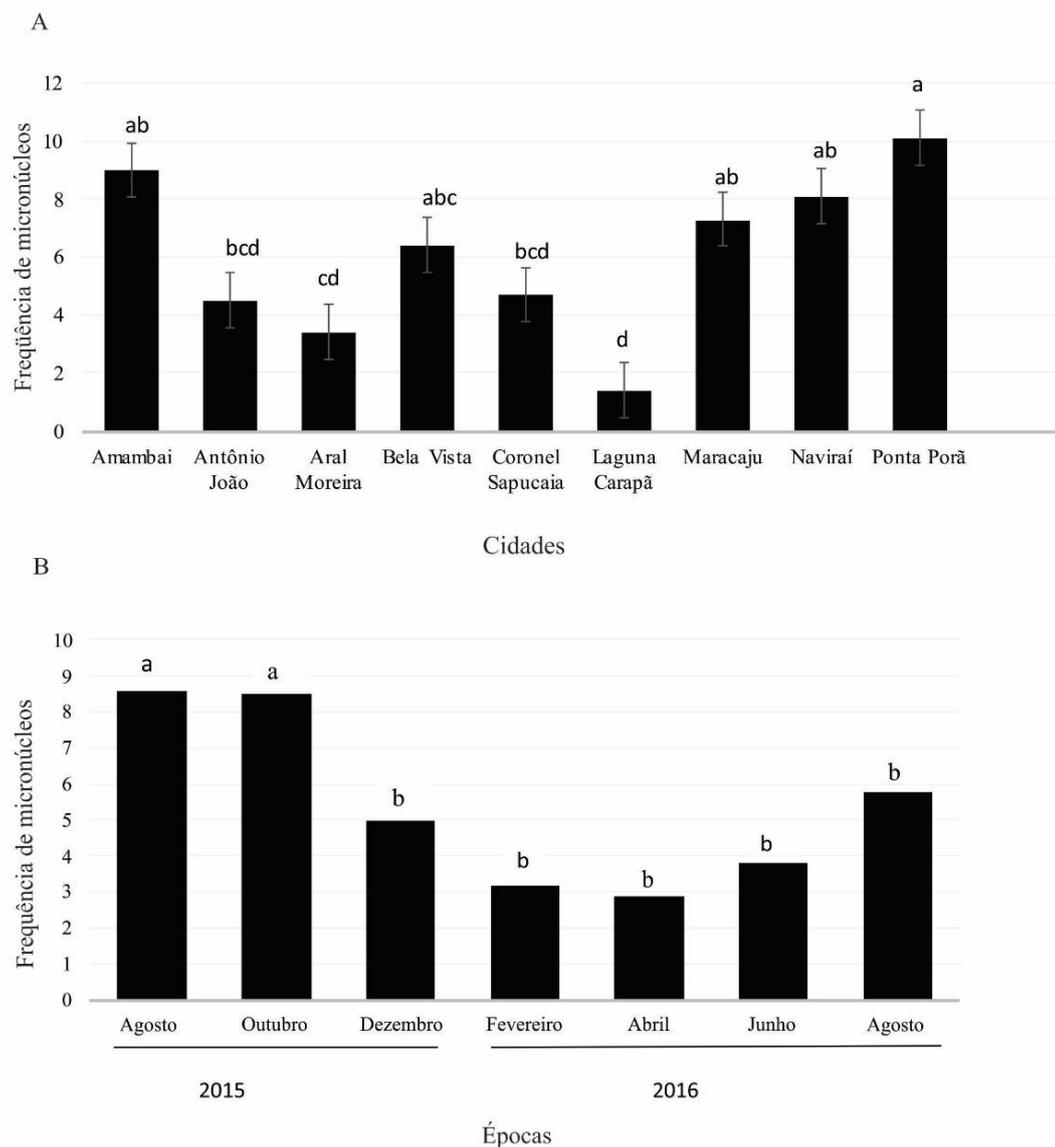


Figura 2. Frequência de micronúcleo em tétrades de *Tradescantia pallida* (Trad-MCN) nas cidades avaliadas (A) e nas épocas (B). Colunas com mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

De acordo com o modelo de regressão linear, a frequência de MCN foi influenciada positivamente pelo fluxo veicular.

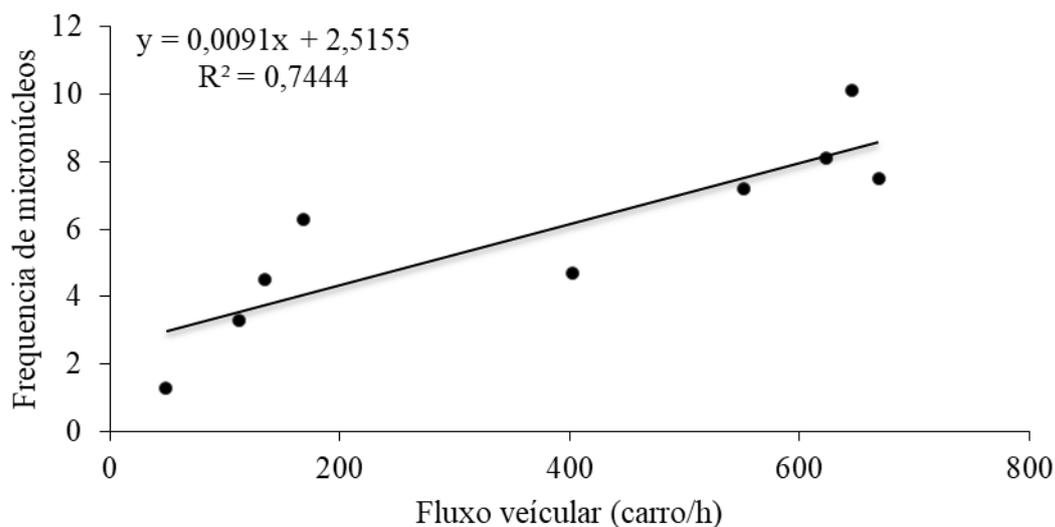


Figura 3. Análise de regressão entre o fluxo veicular (carros/hora) e a frequência de micronúcleos de *Tradescantia pallida*.

A temperatura ambiente média não apresentou associação linear com a frequência de MCN nas amostras analisadas ($r=0,108^{ns}$). No entanto observou-se correlação positiva e significativa para o fluxo veicular e a frequência de MCN ($r=0,674$; $p\leq 0,001\%$). Correlação negativa para umidade relativa ($r= -0,189$; $p\leq 0,05\%$) e altitude ($r=0,2427$; $p\leq 0,05$) com a frequência de MCN indicando uma tendência de maior frequência de MCN em localidades com baixa umidade relativa e maior altitude.

Diante dos dados obtidos é possível propor a espacialização dos pontos de coleta dos dados (Figura 4). Observa-se maior intensidade de poluição nas áreas em vermelho, compreendendo as cidades de Ponta Porã, Naviraí, Amambai e Maracaju. Uma intensidade menor (áreas em laranja) é observada nas cidades de Bela Vista, Antônio João e Coronel Sapucaia. Regiões em azul representam as zonas de menor intensidade da poluição como Laguna Caarapã, Aral Moreira.

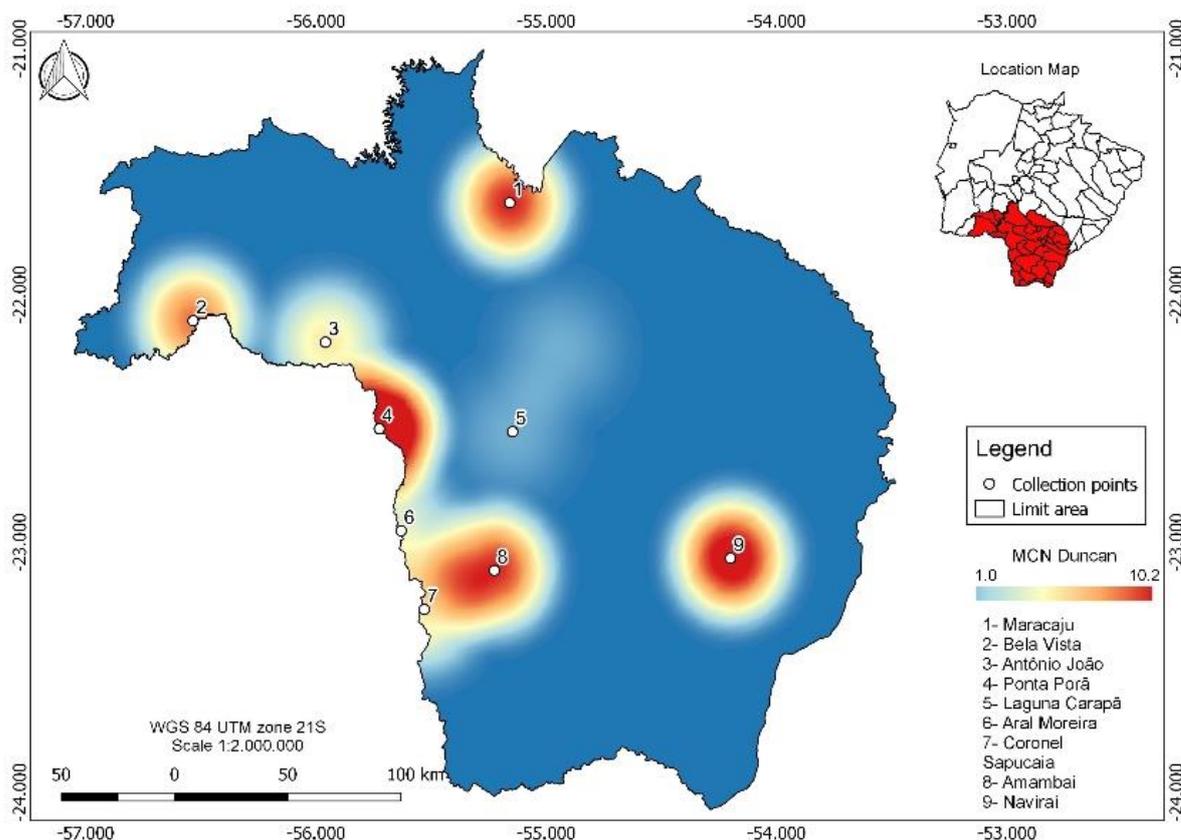


Figura 2. Mapa de Kernel indica as cidades com alta incidência de poluentes.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que as concentrações de gases poluentes no ambiente urbano analisado, associado aos fatores ambientais e altitude, podem influenciar diretamente na frequência de MCN em *Tradescantia pallida*. Esse fato foi claramente observado pela análise da cidade de Ponta Porã, com um fluxo médio de 653 carros por hora e maior média de frequência de MCN.

Ponta Porã é uma cidade de divisa com Pedro Juan Caballero, Paraguai e diversos veículos automotores transitam entre as cidades oriundos de diversas localidades do País. Está situada na borda da serra de Maracaju, em altitude elevada e mantém uma umidade relativa do ar, no inverno, em torno de 90%. Em visitas *in loco* observou-se que Ponta Porã apresenta intensa frota veicular, o que maximiza e amplia ainda mais a área de cobertura dos poluentes na cidade, aumentando a frequência de MCN observada. Ponta Porã é caracterizada por dias com temperatura reduzida formando uma camada de ar frio que fica estacionado, recoberto por uma camada de ar quente, que também não consegue se movimentar (Zavantini, 2009). A consequência

desse fenômeno é uma maior concentração dos gases poluentes emitidos nos espaços urbanos, o que contribui para a observação do fenômeno *smog* e, dessa forma, pode ter contribuído para as maiores frequências de MCN observadas mesmo em altitudes elevadas. Tal fenômeno também é observado na cidade de Antônio João, no entanto como o fluxo de veículos é baixo (em média 137 veículos/hora) não sendo verificada alta frequência de MCN.

Em relação às demais cidades, com elevados valores amostrados pela técnica de interpolação de Kernel, observa-se que a cidade de Naviraí está em região de divisa com o estado do Paraná e São Paulo e, embora não tenha uma altitude elevada quando comparada às demais cidades estudadas, a frota veicular que circula é intensa devido à importante rodovia (BR-163) que comunica diversos municípios, esse evento explica o aumento na frequência de MCN observada. Amambai faz fronteira com o Paraguai e é cortada por diversas rodovias do Estado (MS 156; 165; 286; 289; 295 e 386) por isso apresenta alto fluxo de veículos. A cidade de Maracaju é também conectada pela BR 163 com alto fluxo de veículos.

É importante salientar que todas essas cidades apresentam como polo econômico à agropecuária e o tráfego de caminhões e veículos pesados afeta de forma significativa a qualidade do ar. Conforme Teixeira et al. (2008), veículos pesados são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, sendo o diesel o combustível mais poluente.

Interessante observar que mesmo nas análises de faixas de altitudes diferentes no mesmo estado, nas cidades da microrregião de Mato Grosso do Sul estudadas por Spósito et al. (2017) a faixa de altitude em que as cidades localizam-se são muito próximas (318 a 470,2m) e a relação estabelecida entre altitude e danos genéticos não apresentaram correlação significativa, por outro lado, as cidades analisadas no presente estudo, localizadas na mesorregião do estado, apresentam uma amplitude maior, entre 206 e 658m, com correlação significativa e positiva para altitude ($r = 0,2427$; $p \leq 0,05$) e frequência de MCN e negativa para umidade relativa ($r = -0,189$; $p \leq 0,05\%$), indicando uma tendência de maior frequência de MCN em localidades com baixa umidade relativa e elevada altitude.

No presente estudo, as épocas que apresentaram maior frequência de micronúcleos foram agosto e outubro de 2015 (inverno e primavera de 2015). As condições ambientais deste período, de maior frequência de micronúcleos,

caracterizaram-se por baixa temperatura e umidade relativa do ar. Neste estudo, a umidade relativa do ar revelou-se uma variável importante na frequência de micronúcleos, demonstrando uma tendência de correlação linear negativa. Esses resultados são consistentes com os de Spósito et al. (2017) que detectou na microrregião de Dourados que os MCN em *T. pallida* diminuíam sempre que a umidade relativa aumentava. Normalmente os fatores biológicos ocorrem inter-relacionados aos ambientais, com respostas celulares, bioquímicas e moleculares por parte das plantas (Klumpp et al., 2004; Crispim et al., 2012).

De acordo com Costa e Droste (2012) e Spósito et al. (2015), danos genéticos em plantas localizadas em áreas urbanas estão associados com grandes frotas de veículos e altas concentrações de poluentes aéreos. Casera e Blasior (2001) obtiveram altas taxas de mutação por meio do Trad-MCN na cidade de Bolzano, Itália, em locais próximos a rodovias, no entanto não foi possível especificar o poluente. Batalha et al. (1999) e Guimarães et al. (2004) realizaram estudos na cidade de São Paulo, e comprovaram a alta sensibilidade do gênero *Tradescantia* à poluentes atmosféricos de maneira generalista, fato esse também observado no presente estudo.

Por se tratar de um vegetal superior, a estrutura genética é similar aos seres humanos, logo os efeitos genotóxicos em *T. pallida* podem ser utilizados para inferir riscos a saúde humana devido a poluição do ar. Estudos associam a frequência de MCN com doenças cardiorrespiratórias em áreas de tráfego intenso (Alves et al., 2001; Sumita et al., 2003; Mariani et al., 2009). Conforme DeMarini (2013), as populações que vivem ou trabalham perto de rodovias estão em alto risco de câncer e de doenças cardiovasculares, asma, diminuição da função pulmonar, alergias e problemas no parto. O bioensaio pode ser utilizado como um alerta para possíveis riscos potenciais, destacando a facilidade de realizá-lo e baixo custo de investimento.

Assim, para as cidades com alto fluxo veicular, que apresentaram maior potencial mutagênico, recomenda-se estudar o efeito da poluição aérea sobre a qualidade de vida da população e propor medidas de controle. O presente estudo ainda indica que o potencial mutagênico tende a aumentar quando a umidade relativa for baixa e a altitude elevada. Por outro lado, a temperatura ambiental não foi um bom indicador.

CONCLUSÃO

Cidades localizadas em altas altitudes e com fluxo veicular elevado apresenta, maior frequência de alterações mutagênicas. Essas alterações tendem a aumentar quando for baixa a umidade relativa e altitude elevada. O mapa de interpolação espacial de Kernel permitiu uma visão geral da poluição aérea nas cidades analisadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD) pelo apoio logístico, a Fundação para o Apoio e Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) para apoio financeiro, e a Coordenação para o Melhoramento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T. & LOBO, D.J.A. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica** 24: 567-576. 2001.
- BATALHA, JR.F.; GUIMARAES, E. T.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.; DEUR, T.; CARVALHO, HA.; ALVES, E. S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G.S.; SALDIVA, P.H.N. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in Sao Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei assay. **Mutation Reserch**. 426 (2): 229-32. 1999.
- BERNSTEIN, J.A., ALEXIS, N., BARNES, C., BERNSTEIN, I.L., NEL, A., PEDEN, D., DIAZ-SANCHEZ, D., TARLO, S.M., WILLIAMS, P.B., Health effects of air pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology** 114: 1116-1123. 2004.
- BOSTRÖM, C.E., ALMÉN, J., STEEN, B., WESTERHOLM, R., Human exposure to urban air pollution. **Environmental Health Perspect** 102 (Suppl. 4): 39-47. 1994.
- BRITO, K.C.T., LEMOS, C.T., ROCHA, J.A.V., MIELLI, A.C., MATZENBACHER, C., VARGAS, V.M.F., Comparative genotoxicity or airborne particulate matter (PM2.5) using *Salmonella*, plants and mammalian cells, **Ecotoxicology Environmental Safety** 94:14–20. 2013

CASERA, M.; BLASIOR, P. Luftverschmutzung und Mutagenität in der Stadt Bozen. Schriftenreihe der Agentur für Umwelt- und Arbeitsschutz, Bolzano, Italy **Erhebungszeitraum**. 1999–2000, 9, 111 pp. 2001.

CHENG, Y.W. Environmental exposure and lung cancer among nonsmokers: an example of Taiwanese female lung cancer. **Journal of Environmental Science and Health** 21(1): 1-28. 2003.

CLAXTON, L.D., WOODALL, J.G.M. A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air, **Mutation Research** 636: 36–94. 2007

CLAXTON, L.D., MATTHEWS, P., WARREN, S. The genotoxicity of ambient outdoor air, review: Salmonella mutagenicity, **Mutation Research** 567: 347–399. 2004.

COHEN, A.J., ANDERSON, H.R., OSTRO, B., PANDEY, K.D., KRZYZANOWSKI, M., KUENZLI, N., GUTSCHMIDT, K., POPE, C.A., ROMIEU, I., SAMET, J.M., SMITH, K.R., Mortality impacts of urban air pollution, in: EZZATI M., RODGERS A.D., LOPEZ A.D., MURRAY C.J.L. (Eds.), **Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease due to Selected Major Risk Factors**, vols. 2 of 3, World Health Organization, Geneva, 2004. pp. 1353-1433.

COSTA, G.M., DROSTE, A. Genotoxicity on *Tradescantia pallida* var. purpurea plants exposed to urban and rural environments in the metropolitan area of Porto Alegre, southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 72: 801-806. 2012.

CRISPIM, B. do A.; SPÓSITO, J.C.V.; MUSSURY, R.M.; SENO, L.O.; GRISOLIA, A.B. Effects of atmospheric pollutants on somatic and germ cells of *Tradescantia pallida* (Rose) DR HUNT cv. purpurea. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 86(4): 1899-1906. 2014.

CRISPIM, B. do A., VAINI, J.O., GRISOLIA, A.B., TEIXEIRA, T.Z., MUSSURY, R. M., SENO, L. O. Biomonitoring the genotoxic effects of pollutants on *Tradescantia pallida* (Rose) DR Hunt in Dourados, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research** 19(3): 718-723. 2012.

DEMARINI, D.M. Genotoxicity biomarkers associated with exposure to traffic and near-road atmospheres: a review, **Mutagenesis** 28: 485–505. 2013.

GUIMARÃES, E.T., MACCHIONE, M., LOBO, D.J., DOMINGOS, M., SALDIVA, P.H.N. Evaluation of the mutagenic potential of urban air pollution in São Paulo, Southeastern Brazil, using the *Tradescantia* stamen–hair assay. **Environmental Toxicology** 19(6): 578-84. 2004.

IANISTICKI, M., J. DALLAROSA, C. SAUER, C.E. TEIXEIRA, J. DA SILVA, Genotoxic effect of polycyclic aromatic hydrocarbons in the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil, evaluated by *Helix aspera* (Müller, 1974), **Environmental Pollution** 157: 2037–2042. 2009

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC), **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: diesel and gasoline**

engine exhausts and some nitroarenes IARC Monograph, v. 105, IARC, Lyon, France, 2013.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC), **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: household use of solid fuels and high-temperature frying IARC Monograph**, v. 95, IARC, Lyon, France, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**. Rio de Janeiro 29(12): 1-88. 2015.

LEWTAS, J. Experimental evidence for carcinogenicity of air pollutants, in: Tomatis L. (Ed.), **Air Pollution and Human Cancer, Monographs, European School of Oncology**, Springer-Verlag, New York, 1993.pp. 49-61.

MA, T.H. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for *in situ* monitoring and mutagen screening. **Environment Health Perspect.** 37:85–90. 1981.

MARIANI, R.L., JORGE, M.P.M., PEREIRA, S.S., MELIONE, L.P., CARVALHO-OLIVEIRA, R., MA, T.H., SALDIVA, P.H.N. Association between micronuclei frequency in pollen mother cells of *Tradescantia* and mortality due to cancer and cardiovascular diseases: A preliminary study in Sao José dos Campos, Brazil. **Environmental Pollution.** 157: 1767-1770. 2009.

MIŠIK, M., SOLENSKÁ, M., MIČIETA, K., MIŠIKOVÁ, K., KNASMÜLLER, S. In situ biomonitoring of clastogenicity of ambient air in Bratislava, Slovakia using the *Tradescantia* micronucleus assay and pollen abortion assays. **Mutation Research.** 605: 1-6. 2006.

NYBERG, F., GUSTAVSSON, P., JARUP, L., BELLANDER, T., BERGLIND, N., JAKOBSSON, R., PERSHAGEN, G. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. **Epidemiology** 11: 487-495. 2000.

PEREIRA, T.S., GOTOR, G.N., BELTRAMI, L.S., NOLLA, C.G., ROCHA, J.A.V., BROTO, F.P., COMELLAS, L.R., VARGAS, V.M.F. Salmonella mutagenicity assessment of airborne particulate matter collected from urban areas of Rio Grande do Sul State Brazil, differing in anthropogenic influences and polycyclic aromatic hydrocarbon levels, **Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis** 702: 78–85. 2010

SAS. **SAS/STAT user's guide**. Version 6,4 ed. SAS Cary, NC, Institute Inc, 1989.

SPÓSITO, J.C.V., CRISPIM, B.A., MUSSURY, R.M., GRISOLIA, A.B. Genetic instability in plants associated with vehicular traffic and climatic variables. **Ecotoxicology Environmental Safety** 120: 445-448. 2015.

SPÓSITO, J.C.V., CRISPIM, B.D.A., ROMÁN, A.I., MUSSURY, R.M., PEREIRA, J.G., SENO, L.O., GRISOLIA, A.B. Evaluation the urban atmospheric conditions in different cities using comet and micronuclei assay in *Tradescantia pallida*, **Chemosphere** 175: 108-113. 2017.

SUMITA, N.M.; MENDES, M.E.; MACCHIONE, M.; GUIMARÃES, E.T.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; LOBO, D.A.; SALDIVA, P.H.N. *Tradescantia pallida* cv. purpurea Boom in the Characterization of Air Pollution by Accumulation of Trace Elements. **Air & Waste Management Association**. 53:574-579. 2003.

TEIXEIRA, E.C.; FELTES, S.; SANTANA, E.R.R. de. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova** 31(2): 244-248. 2008.

VARGAS V.M.F., Mutagenic activity as a parameter to asses ambient air quality for protection of the environment and human health, **Mutation Research** 544: 313–319. 2003.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul : estudos geográficos com vista à regionalização climática**. São Paulo:Cultura Acadêmica, 2009, 131p.

Aspectos anatômicos foliares de *Tradescantia pallida* na avaliação da qualidade do ar na mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul.

ROCHA, A. DO N.¹; MUSSURY, R. M.²

Acadêmica do Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção¹;
Discente do Programa de Pós Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção²

Resumo.

Na averiguação da condição atmosférica de uma localidade é comum observarmos a utilização de equipamentos eletrônicos para levantamento de informações. No entanto, não devem ser utilizados unicamente como base de prevenção contra riscos aos qual a população humana pode estar exposta. O objetivo deste estudo é testar a hipótese de que a folha de *Tradescantia pallida* responde com alterações anatômicas a exposição em diferentes níveis de tráfego veicular. O biomonitoramento ocorreu em dez cidades da mesorregião sudoeste do Mato Grosso do Sul: Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Bela Vista, Coronel Sapucaia, Laguna Caarapã, Maracaju, Naviraí, Ponta Porã e Dourados (controle) durante o período de agosto de 2015 a agosto de 2016. Os parâmetros foliares analisados foram: índice estomático, face superior e inferior da cutícula, face superior e inferior da epiderme, hipoderme e mesófilo. Foi mensurado o fluxo veicular e as condições ambientais de cada ponto amostral. Os resultados indicaram a ocorrência de uma tendência à redução na estrutura foliar de *T. pallida* em cidades com maior intensidade de tráfego veicular e condições ambientais peculiares devido à altitude em que estão localizadas. A cutícula e a epiderme foram os parâmetros que melhor responderam a alterações no meio. O índice estomático foi menor em localidades de grande altitude, alto fluxo veicular e elevada temperatura. O fluxo veicular embora tenha demonstrado correlação positiva com muitas características, não foi possível detectar qual foi a mais afetada por este fator, uma vez que as respostas às condições ambientais são peculiares em cada ponto amostral.

Palavras-Chave: Biomonitoramento, Estômatos, Trapoeraba roxa.

Abstract

In the investigation of the atmospheric condition of a locality it is common to observe the use of electronic equipment for gathering information. However, they should not be used solely as a basis for prevention against risks to which the human population may be exposed. The objective of this study is to test the hypothesis that the leaf of *Tradescantia pallida* responds with anatomical alterations the exposure in different levels of vehicular traffic. Biomonitoring occurred in ten cities of the southwestern mesoregion of Mato Grosso do Sul: Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Bela Vista, Coronel Sapucaia, Laguna Caarapã, Maracaju, Naviraí, Ponta Porã and Dourados (control) during the period of August 2015 To August 2016. Leaf parameters analyzed were: stomatal index, upper and lower cuticle, upper and lower epidermis, hypodermis and mesophyll. The vehicle flow and the environmental conditions of each sampling point were measured. The results indicated a tendency to reduce the foliar structure of *T. pallida* in cities with greater traffic intensity and peculiar environmental conditions due to the altitude in which they are located. The cuticle and epidermis were the parameters that best responded to changes in the medium. The stomatal index was lower in locations of high altitude, high vehicular flow and high temperature. The vehicular flow, although showing a positive correlation with many characteristics, it was not possible to detect which was most affected by this factor, since the responses to the environmental conditions are peculiar in each sampling point.

Keywords: Biomonitoring, Stomata, Purple trapoeraba.

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico regional de Mato Grosso do Sul decorreu da expansão e aumento das atividades de base econômica focadas no setor primário da economia (PIFFER 2012). As questões ambientais necessitam ser discutidas neste cenário, como as alterações na composição da atmosfera e as consequências sobre os ecossistemas (SAVÓIA et al., 2008). O ar atmosférico pode conter substâncias tóxicas que venham a ocasionar doenças e injúrias sobre o homem, os animais, as plantas e os microrganismos (MIGUEL 1992; ANDRADE Jr. et al., 2008). Estudos que relatam impactos de poluentes atmosféricos datam desde o século XIX, quando Grindon (1859) e Nylander (1866) observaram mudanças na comunidade de líquens em áreas poluídas.

A tecnologia do biomonitoramento que tem se mostrado uma ferramenta eficaz ao demonstrar os efeitos de contaminantes sobre seres vivos, onde, por meio do conhecimento da biologia desses é possível identificar e/ou caracterizar mudanças induzidas na qualidade do ar (FLORES 1987; ARNDT e SCHWEIGER, 1991). Os seres vivos que respondem aos poluentes e fatores ambientais (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) manifestando respostas biológicas de acordo as interações desses denominamos biomonitoradores (DANTAS-SILVA et al., 2017).

As plantas possuem vantagens para utilização como biomonitoras devido apresentarem características fisiológicas, bioquímicas e/ou mecanismos morfológicos que aumentam a sua capacidade de sobreviver em ambientes contaminados (MARKERT 2007; CABO 2009). As respostas morfológicas e/ou anatômicas de plantas sob a ação de poluentes vêm sendo mais estudada na última década. Reig-Armiñana et al. (2004) observaram que plantas submetidas a poluentes aéreos podem apresentar alterações na área dos feixes vasculares. Dias et al. (2010) demonstraram o aumento e redução na densidade dos tricomas de plantas expostas à poluentes. Moura et al. (2011) evidenciou células hipertrofiadas ou colapsadas do mesófilo. Vegetais superiores, particularmente *Tradescantia sp.*, *Alium cepa* e *Vicia faba*, têm sido utilizada para fins de monitoramento de qualidade do ar e da água (GRANT et al. 1992, ZIMMERMANN et al., 2016).

A *Tradescantia pallida*, pertence à família Commelinaceae, é uma monocotiledônea de distribuição cosmopolita, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais e com florações durante o ano inteiro (JOLY, 1977). Muitos trabalhos sustentam a hipótese de que as características estruturais da folha, além dos estômatos, do gênero *Tradescantia* são importantes na determinação da sensibilidade do vegetal

aos poluentes. Variações na espessura dos tecidos e estruturas são respostas observadas por diferentes autores (BUSSOTTI et al., 1995; EVANS et al., 1996; ALVES et al., 2001; GEROSA et al., 2003).

Tendo como base a importância de se estudar as condições do ar, o presente trabalho teve como objetivo apresentar parâmetros anatômicos foliares em *T. pallida* como possíveis indicadores dos efeitos da poluição aérea e condições ambientais locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Locais de estudo.

O estudo foi realizado em nove cidades da mesorregião sudoeste de Mato Grosso do Sul: Amambai, Antônio João, Aral Moreira, Coronel Sapucaia, Bela Vista, Laguna Carapã, Maracaju, Naviraí e Ponta Porã (Figura1). Em cada cidade foram instalados floreiras de *Tradescantia pallida* com solo padronizado em duas áreas com diferente intensidade de fluxo de veículos motorizados (área urbana de alto e baixo fluxo veicular). Como controle foi escolhida uma região em que não se encontra fontes de poluição eminentes, a Mata do Azulão (22°11'57"S e 54°54'29"W) é uma reserva particular de mata nativa – mancha de Mata Atlântica – de 54 ha, localizada na bacia do córrego Curral de Arame e protegida pelo IBAMA no município de Dourados -MS (MUSSURY et al., 2008).

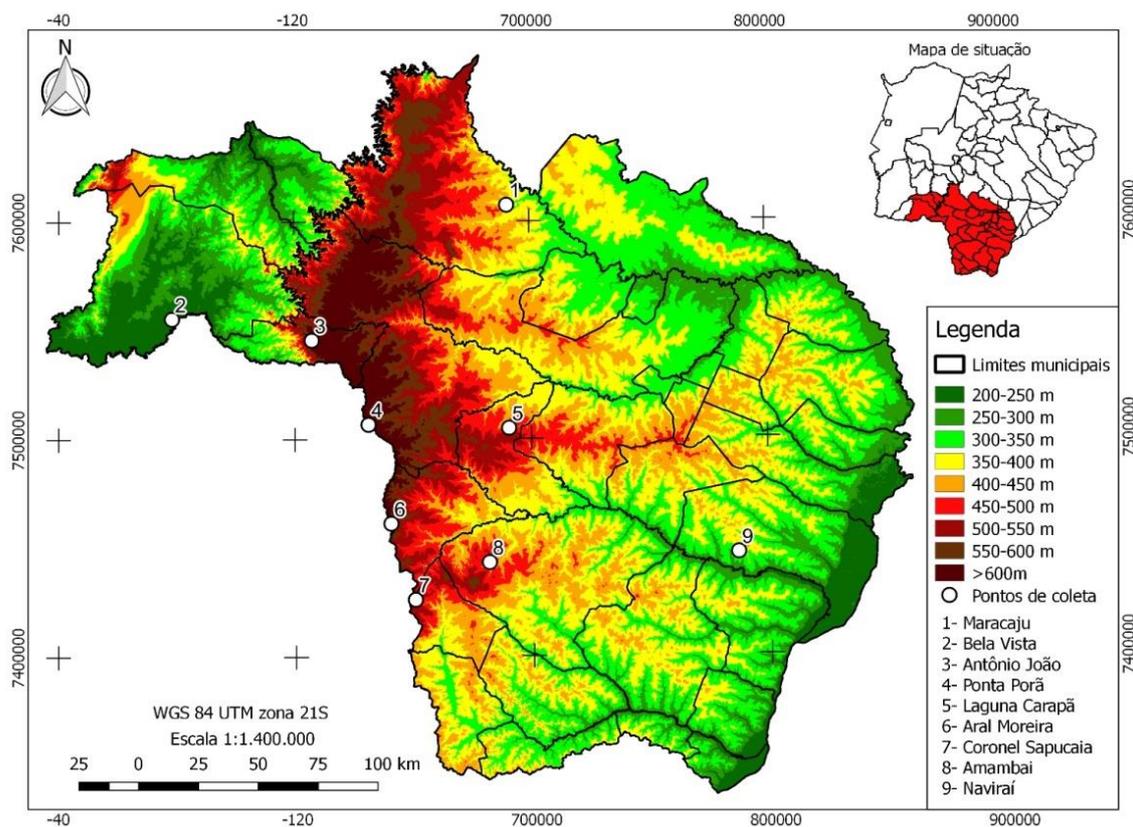


Figura 1. Mapa das altitudes das cidades avaliadas na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul destacando os pontos de amostragem.

Foram realizadas sete amostragens bimestrais, compreendo os meses de agosto, outubro e dezembro do ano de 2015; fevereiro, abril, e agosto do ano de 2016. Desta forma contemplaram-se todas as estações do ano: inverno (junho e agosto), primavera (outubro), verão (dezembro e fevereiro) e outono (abril).

Análises Anatômicas.

Em cada período amostral e para cada ponto de amostragem nas cidades avaliadas, foram analisadas vinte folhas totalmente expandidas de *Tradescantia pallida*. As análises anatômicas foram feitas com material vegetal fresco e fixado em solução de FAA 50 e conservado em etanol 70% (v/v), segundo técnica descrita por Johansen (1940). O material biológico foi encaminhado para o Laboratório de Botânica da Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais (FCBA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), onde foram realizadas secções transversais e paradérmicas à mão livre. Com este material, foram preparadas lâminas permanentes com os cortes descorados em solução de hipoclorito de sódio a 20%, lavados em água destilada e

corados com safranina 1% e solução de azul de Astra a 1% (Gerlach, 1969), montados entre lâmina e lamínula com gelatina glicerinada.

Foi realizada a mensura dos tecidos/estruturas como: Face superior da cutícula (CS), Face inferior da cutícula (CI), Face superior da epiderme (ES), Face inferior da epiderme (EI), Hipoderme (HIPO) e Mesófilo (MESO) em microscópico binocular com câmara fotográfica acoplada, com auxílio do programa de captura de imagem Moticam 2300 3.0MP live Resolution.

Para a análise estomática, em cada período amostral e para cada ponto, cinco folhas foram seccionadas em cortes paradérmicos a mão-livre, com o auxílio de lâmina de barbear, sendo confeccionando laminário. Em cada lâmina foram analisados 10 campos totalizando 100 campos. O índice estomático (IE) foi calculado por meio da fórmula: $IE = \frac{NE}{NE+CE} * 100$ onde, NE = número de estômatos; CE = Células epidérmicas.

Avaliação do fluxo veicular e condições ambientais.

O Fluxo veicular foi obtido a partir da contagem dos veículos que circularam pelos pontos de coleta em cada dia de amostragem, sendo três vezes ao dia das 8:00 horas - 9 horas da manhã, das 11:00 horas - 12:00 horas e das 17:00 horas - 18:00 horas da tarde. Posteriormente foi calculada a média de fluxo veicular.

Também foram obtidas informações meteorológicas referentes à temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR) e dados pluviométricos foram obtidos junto as estações meteorológicas (Tabela 1).

Análise estatística.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo 10 cidades (9 cidades + 1 controle) x 7 épocas com 10 repetições. Os dados das mensuras de tecidos e estruturas foliares foram avaliados pelo teste F a 5% de probabilidade. Detectado diferenças estatísticas significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (inseridas em anexos). A interação significativa entre cidades x épocas referente a índice estomático e variação na espessura da estrutura vegetal entre cidades e épocas foram desdobradas e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Também se realizou correlação de Pearson entre índice estomático e fluxo veicular para as cidades e estações do ano, em nível de 1 e 5% de probabilidade.

Tabela 1. Dados coletados nas cidades analisadas: Altura metros (Alt.); Média de Fluxo Veicular por hora (F.V.); Média mensal da Umidade Relativa do ar % (UR); Média mensal da Temperatura (T °C); Média mensal de precipitação (PP).

Cidades	Variáveis ambientais por época																												
	Inverno				Primavera				Verão				Outono				Inverno												
	Agosto 2015				Outubro 2015				Dezembro 2015				Fevereiro 2016				Abril 2016				Junho 2016				Agosto 2016				
	Alt.	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP	F.V.	UR	T°C	PP
Amambaí	476,5	680,5	58	19,4	67	601	67	22,7	185	714,5	65	24,1	190	599	96	25	154	822,5	62	21,6	120	549,5	78	17,4	89	715,5	52	19	62
Antônio João	685,5	136,5	65	19,3	48	148,5	51	22,7	142	151,5	56	23	167	83	55	24,1	133	155,5	68	21,2	116	124	72	17,4	73	157	42	20	87
Aral Moreira	609,5	121,5	58	21,2	59	121,5	56	22,2	162	105,5	53	23,7	174	89,5	57	24	149	137,5	60	20,8	122	79,5	77	16,8	85	127,5	48	20	55
Bela Vista	206	182	67	19,4	61	176	62	25	135	163	75	26,1	181	146,5	64	26,9	88	196	65	23,9	123	141,5	76	19,6	83	155,5	40	22	62
Coronel Sapucaia	517,5	388	62	20,2	65	357	63	22,4	172	357	63	23,9	181	362	61	24,5	153	412	63	21,2	125	321,5	80	17	89	614	42	20	68
Laguna Caarapã	503,5	44,5	65	21,5	62	40	68	23,2	179	37,5	80	24,2	189	39	72	25,4	146	40,5	58	22,7	115	36,5	75	18,1	81	103,5	38	21	66
Maracaju	382	604,5	50	20,5	42	545,5	75	24,9	156	546,5	78	24,4	174	545,5	85	25,7	139	571,5	68	23,5	107	484	82	29,6	41	611,5	42	22	88
Naviraí	366	729,5	57	19,7	71	617	67	23,2	216	595,5	63	24,3	198	595	59	25,3	151	676,5	71	22,1	94	515,5	80	28,5	94	631,5	40	21	76
Ponta Porã	658	698	68	21,3	47	626,5	68	22,8	141	663,5	85	23	158	565,5	52	23,9	143	723,5	61	20,5	115	537,5	77	17,3	73	754,5	90	20	42
Controle	452	0	65	19,8	54	0	70	24,3	170	0	76	23,3	183	0	83	25,4	132	0	65	22,4	109	0	81	18,3	73	0	46	22	57

Altura metros(Alt.); Média de Fluxo Veicular por hora (F.V.); Média mensal da Umidade Relativa do ar % (UR); Média mensal da Temperatura (T °C); Média mensal de precipitação (pp).

RESULTADOS

A secção transversal de uma folha de *Tradescantia pallida* está apresentada na figura 2. A folha é considerada anfiestomática, com estômatos do tipo tetracítico, apresentando uma maior quantidade de estômatos em sua superfície abaxial. A face adaxial e abaxial da epiderme é unisseriada com cutícula delgada. Observa-se logo abaixo da face adaxial da epiderme uma (ou duas) camada de células de grande diâmetro, a hipoderme, o mesofilo é constituído por parênquima lacunoso e organizado (Figura 2).

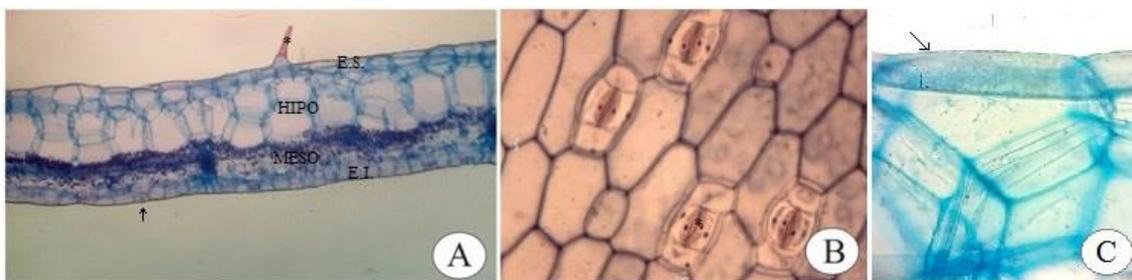


Figura 2. (A) Visão transversal da folha de *Tradescantia pallida* em destaque as faces superior (E. S.) e inferior (E. I.) da epiderme, hipoderme (HIPO), mesofilo (MESO), indicado pela seta um estômato e tricoma por *; (B) Corte paradérmico em destaque o estômato tetracítico; (C) Cutícula - fina camada (indicada por seta) sobre a célula epidérmica.

Em ordem decrescente de intensidade de tráfego veicular, certificou-se que: Amambai apresentou 669 carros por hora em média, Ponta Porã 653, Naviraí 623, Maracaju 559, Bela Vista 166, Antônio João 137, Aral Moreira 112, e Laguna Carapã com 49 carros por hora em média.

A análise de variância considerando os fatores cidades, épocas e a interação entre esses fatores estão apresentada na tabela 1. Houve diferença significativa entre as cidades para todas as variáveis observadas, no entanto, durante as épocas de avaliação apenas a hipoderme não apresentou diferença significativa. Houve interação entre os fatores cidades e época para todas as espessuras dos tecidos/estruturas analisadas em nível de significância de 5 e 1 %.

Tabela 1. Análise de variância entre as variáveis analisadas: cutícula superior, cutícula inferior, epiderme superior, epiderme inferior, hipoderme, mesofilo, índice estomático de *Tradescantia pallida*. Mensuradas de agosto de 2015 a agosto de 2016 em dez cidades da mesorregião Sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul-MS.

FV	GL	Quadrado Médio						
		Cut. superior	Cut. inferior	Ep. superior	Ep. inferior	Hipoderme	Mesofilo	Índice estomático
Cidade	9	0.064 ^{**}	0.084 ^{**}	480.9100 ^{**}	204.68 ^{**}	19764.31 [*]	4317.35 ^{**}	12.929 ^{**}
Época	6	0.184 ^{**}	0.042 [*]	1842.772 ^{**}	345.26 ^{**}	8810.50 ^{ns}	9538.94 ^{**}	15.997 ^{**}
Cidade x Época	54	0.053 ^{**}	0.058 ^{**}	225.4761 ^{**}	139.78 ^{**}	11870.99 [*]	1453.38 ^{**}	16.095 ^{**}
Média Geral		0,472	0,415	64,96	49,47	265,63	137,62	17,24
CV(%)		30.04	33.56	16.09	15.69	35.17	18.43	13.06

^{ns}, *, ** não significativo, Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Durante as estações de inverno, outono e primavera o índice estomático apresentou redução nas cidades de Amambai, Aral Moreira e Bela Vista. O inverso foi observado em Maracaju ($r= 0,7070$; $p=0,001$) e Ponta Porã ($r= 0,5285$; $p=0,05$) onde ocorreu o aumento do índice estomático, apresentando correlação positiva e significativa com o fluxo veicular.

A espessura da hipoderme reduziu de 44% a 60% entre todas as cidades em relação a situação controle para estação de verão (fevereiro de 2016) (Tabela 2). Para a cidade de Bela Vista, Aral Moreira, Ponta Porã, Coronel Sapucaia, Maracaju e Naviraí não se observou correlação entre as variáveis analisadas e a hipoderme.

Durante o inverno, ocorreu alteração na espessura da face superior da cutícula de plantas expostas na cidade de Antônio João, essa resposta apresenta correlação positiva e significativa com as variáveis: precipitação ($r=0,4573$; $p=0,05$), temperatura ($r=0,4573$; $p=0,05$) e fluxo veicular ($r=0,4573$; $p=0,05$) e negativa para umidade relativa do ar ($r=-0,4573$; $p=0,05$). Para a face inferior da cutícula nenhuma das correlações com as variáveis analisadas demonstraram resultados significativos. Verificou-se que o espessamento da face superior da epiderme está correlacionado positivamente com a precipitação ($r=0,5917$; $p=0,001$), temperatura ($r=0,5917$; $p=0,001$) e fluxo veicular ($r=0,5917$; $p=0,001$) e negativamente para umidade relativa ($r= -0,5917$; $p=0,01$).

Para a cidade de Antônio João observou-se correlação positiva e significativa para a redução da espessura da hipoderme no verão, para precipitação, umidade relativa e fluxo veicular, sendo o coeficiente de regressão idêntico para as três variáveis ($r= 0,7395$; $p=0,001$). Redução no mesofilo ao longo do período avaliativo em relação ao controle e correlação positiva com a temperatura ($r= 0,5373$; $p=0,05$) e fluxo veicular ($r= 0,5373$; $p=0,05$).

Na cidade de Aral Moreira as folhas de *T. pallida* expostas a condição atmosférica local apresentaram aumento na espessura da face superior e inferior da cutícula e também a face superior e inferior da epiderme. No entanto, apenas a face superior da epiderme demonstrou correlação significativa com as variáveis ambientais, sendo negativa para precipitação ($r= -0,5918$; $p=0,001$), temperatura ($r= -0,5918$; $p=0,001$) e umidade relativa ($r= -0,5918$; $p=0,001$) e positiva para o fluxo veicular ($r=0,7573$; $p=0,05$).

Observou-se em folhas analisadas na cidade de Bela Vista o espessamento da face superior da cutícula no período de coleta que abrange as características da estação de inverno apresentam correlação positiva com a precipitação ($r= 0,5918$; $p=0,001$) e a

temperatura ($r= 0,5918$; $p=0,001$), e correlação negativa com umidade relativa e fluxo veicular ambos com valores de $r= -0,5918$. Não foi observada correlação significativa entre as demais características anatômicas analisadas e as condições ambientais.

Em Maracaju o espessamento da face superior da cutícula é explicado pela correlação positiva com a precipitação ($r= 0,6122$; $p=0,001$) e fluxo veicular ($r= 0,6122$; $p=0,001$). No entanto, não observa-se correlação significativa entre as alterações na espessura do mesofilo, epiderme e hipoderme com as condições ambientais da cidade biomonitorada. Na cidade de Ponta Porã as folhas de *T. pallida* durante o inverno demonstraram uma redução da espessura do mesofilo em relação ao controle, constatando uma correlação significativa positiva com o fluxo veicular ($r= 0,7006$; $p=0,01$).

Tabela 2. Resultado médio do desdobramento das interações entre os fatores cidade e época para as características anatômicas analisadas: índice estomático, cutícula, epiderme, hipoderme e mesofilo de *Tradescantia pallida*, mensuradas de agosto de 2015 a agosto de 2016 em dez cidades da mesorregião Sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul-MS.

ÍNDICE ESTOMÁTICO						
Cidade	Época	Média	Cidade	Época	Média	p-value
Amambaí	Jun./16	14.96	Amambaí	Ago./15	18.79	0,0073
Amambaí	Jun./16	14.96	Amambaí	Dez/15	18.60	0,0198
Aral Moreira	Ago./15	14.77	Aral Moreira	Dez/15	19.49	<,0001
Aral Moreira	Abr./16	16.05	Aral Moreira	Dez/15	19.49	0,0496
Bela Vista	Jun./16	15.81	Bela Vista	Out/15	19.29	0,0015
Maracaju	Abr./16	14.90	Controle	Abr/16	19.00	0,0017
Maracaju	Abr./16	14.90	Maracaju	Ago./16	16.71	0,0353
Maracaju	Abr./16	14.90	Maracaju	Jun./16	19.71	<, 0001
Maracaju	Out/15	14.91	Maracaju	Jun./16	19.71	<,0001
Maracaju	Out/15	14.91	Controle	Out/15	19.34	0,0002
Maracaju	Out/15	14.91	Maracaju	Ago./16	16.71	0,0364
Ponta Porã	Fev./16	15.10	Ponta Porã	Jun./16	19.32	0,0008
Ponta Porã	Out/15	14.83	Controle	Out/15	19.34	0,0001
Ponta Porã	Out/15	14.83	Ponta Porã	Jun./16	19.32	0,0002
Naviraí	Out/15	14.83	Controle	Out/15	19.34	0,0326
FACE SUPERIOR DA CUTÍCULA						
Antônio João	Fev./16	0.31	Antônio João	Ago./15	0.44	0,0104
Bela Vista	Fev./16	0.34	Bela Vista	Abr./16	0.69	0,0001
Bela Vista	Fev./16	0.38	Bela Vista	Ago./16	0.64	0,0053
Controle	Abr./16	0.41	Bela Vista	Abr./16	0.69	0,0197
Maracaju	Dez/15	0.31	Maracaju	Ago./16	0.60	0,0104
Antônio João	Fev./16	0.31	Antônio João	Ago./15	0.44	0,0104
FACE INFERIOR DA CUTÍCULA						
Antônio João	Dez/15	0.47	Antônio João	Fev./16	0.51	0,0017

FACE SUPERIOR DA EPIDERME						
Antônio João	Jun./16	74.48	Antônio João	Ago./15	51.91	0,0022
Controle	Ago./16	72.21	Aral Moreira	Ago./15	53.19	0,0535
Controle	Ago./16	72.21	Amambaí	Ago./15	53.15	0,0518
Controle	Ago./16	72.21	Antônio João	Ago./15	51.91	0,0186
Maracaju	Jun./16	79.80	Maracaju	Abr./16	58.62	0,0085
Maracaju	Jun./16	79.80	Maracaju	Out/15	58.09	0,0051
FACE INFERIOR DA EPIDERME						
Antônio João	Dez/15	0.47	Antônio João	Fev./16	0.51	0,0017
HIPODERME						
Controle	Fev./16	491.01	Amambaí	Fev./16	229.95	<, 0001
Controle	Fev./16	491.01	Antônio João	Fev./16	218.04	<,0001
Controle	Fev./16	491.01	Aral Moreira	Fev./16	251.33	<,0001
Controle	Fev./16	491.01	Bela Vista	Fev./16	213.53	<,0001
Controle	Fev./16	491.01	Coronel Sapucaia	Fev./16	247.79	<,0001
Controle	Fev./16	491.01	Laguna Carapã	Fev./16	275.45	0,0007
Controle	Fev./16	491.01	Maracaju	Fev./16	294.11	0,0057
Controle	Fev./16	491.01	Naviraí	Fev./16	263.21	0,0002
Controle	Fev./16	491.01	Ponta Porã	Fev./16	250.21	<,0001
MESOFILO						
Antônio João	Dez/15	161.27	Antônio João	Ago./15	102.29	0,0006
Controle	Ago./16	158.04	Antônio João	Ago./15	102.29	0,0023
Controle	Fev./16	170.82	Antônio João	Fev./16	119.75	0,0138
Controle	Fev./16	170.82	Bela Vista	Fev./16	113.96	0,0014
Ponta Porã	Ago./16	162.20	Ponta Porã	Ago./15	113.86	0,0356
Ponta Porã	Jun./16	163.33	Ponta Porã	Ago./15	113.86	0,0243

DISCUSSÃO

A anatomia das plantas é comumente afetada por diversos fatores ambientais e da interação entre eles. As diferentes condições ambientais presentes em cada época de avaliação e a localização das cidades determinaram, em parte, as modificações anatômicas observadas para muitas delas. Um exemplo claro dessa interferência é a comparação nos dados obtidos para cidades localizadas em altitudes muito próximas como Ponta Porã, Antonio João e Bela Vista, cidades localizadas na serra de Maracaju com clima típico. O fluxo veicular na cidade de Ponta Porã foi um dos mais elevados. Além disso, a cidade apresenta ao longo do dia flutuações na temperatura e umidade relativa do ar, garantindo que os poluentes fiquem dispersos na atmosfera e o ar frio os impeça de ser dissipado. Esse fato foi observado em visitas *in loco* feitas na região. Tal fato é também observado na cidade de Antonio João mesmo com o baixo fluxo veicular as modificações anatômicas foliares observadas apresentaram correlação positiva e

significativa, quando observada, para os fatores ambientais. Para Bela Vista não foi possível explicar o fator que interferiu na modificação anatômica.

O índice estomático é uma importante característica, considerando que é por meio dos estômatos que os poluentes atmosféricos entram nas folhas (BROBOV 1955), podendo causar injúrias irreparáveis dependendo do tempo de exposição e concentração do poluente (WELLBURN 1990; ALVES et al., 2001; POMPELLI et al., 2010). Logo, o menor índice estomático pode ser uma resposta biológica a um ambiente onde a poluição é acentuada, pois dificulta o acesso de poluentes gasosos ao interior da folha. Alves et al. (2001) observa em clone híbrido 4430 de *Tradescantia*, redução no tamanho dos estômatos sob efeitos da poluição aérea. Portanto as reduções observadas no índice estomático nas cidades de Amambai, Aral Moreira, Bela vista, Maracaju, Ponta Porã e Naviraí durante as diferentes estações do ano são reflexos das alterações climáticas e do fluxo veicular observados nessas cidades durante o período biomonitorado.

Para as estrutura/tecidos de proteção, como cutícula e epiderme observou-se que a face inferior da epiderme e cutícula não apresentou correlações com as variáveis analisadas. No entanto as alterações ocorreram na cutícula e epiderme, provavelmente pela exposição direta as condições ambientais e poluentes. As modificações observadas na cutícula e face superior da epiderme decorrem da função que ambos tecidos exercem. A cutícula é a primeira barreira contra a penetração de patógenos na folha (BRIDGES, 2000), como também restringe a passagem de água e gases para dentro e fora da planta (SEGATTO et al., 2004; TAIZ e ZEIGER 2004). É uma estrutura influenciada pelas condições ambientais, a alta luminosidade e baixa umidade do ar, o que induz um aumento na camada cuticular (HESS & FALK, 1990; BRIDGES 2000; VIDAL e MEROTTO Jr, 2001; MONQUERO et al., 2005).

A epiderme é uma barreira contra agentes patogênicos externos e restringe a perda de água (CALABONI et al., 2014; DA COSTA et al., 2015) sendo o tecido sujeito a ação direta dos poluentes atmosféricos. A epiderme foliar de *Tradescantia pallida* apresentou pouca variação entre as cidades avaliadas e a situação controle, no entanto é possível observar que no período que abrange características da estação de inverno todos os valores foram mais elevados em relação ao controle, enquanto os menores são observados em períodos de características de estação de verão, o que indica uma possível relação com as condições ambientais.

A hipoderme é uma camada (unisseriada ou multisseriada) de células largas situadas logo abaixo da epiderme adaxial, este tecido é responsável pelo armazenamento

de água, mas não evita sua perda para o ambiente, sendo necessária a presença de cutícula espessa (MADISON 1977; BORLAND et al., 1998) a presença deste tecido é uma característica típica das folhas xeromórficas (ROCHA et al., 2013). No período de fevereiro (verão), a situação controle (Mata do Azulão) apresentou a maior média na espessura da hipoderme (491,01 μm). Podemos inferir este resultado como consequência da preservação da cutícula e epiderme, somado ao menor fluxo veicular e condições ambientais controladas da Mata do Azulão proporcionando redução na perda de água para o ambiente.

As cidades situadas na Serra de Maracaju demonstraram tendência de afinamento do mesofilo apresentando correlação positiva e significativa com o fluxo veicular. Eleftheriou et al. (1987) observaram uma redução no mesofilo de folhas de oliveiras coletadas no meio urbano quando comparadas ao meio rural. O mesmo efeito foi observado por Evans et al. (1996) em espécies herbáceas de *Rudbeckia laciniata* L., *Rubus canadenses* L. e *Sassafras albidum* (Nutt.) Nees expostas ao ozônio. Alves et al., 2001 evidenciaram que o clone 4430 de *Tradescantia* apresenta folhas mais finas quando submetido a altas concentrações de poluentes primários. O decréscimo nos espaços intercelulares pode ser uma adaptação para impedir o deslocamento dos poluentes gasosos no interior da folha, que consiste de uma estratégia de adaptação para o ambiente com grandes quantidades de gases tóxicos (ALVES et al., 2008).

CONCLUSÃO

O índice estomático de *Tradescantia pallida* pode ser uma resposta biológica para impedir o deslocamento dos poluentes gasosos no interior da folha, já que são características diretamente influenciadas pela altitude, fluxo veicular e temperatura da localidade.

Juntamente com o índice estomático, a face superior da cutícula e da epiderme respondem com variações da espessura as diferentes condições ambientais. Desta forma, demonstrando ser uma resposta biológica com potencial para ser utilizada como bioindicadora de qualidade do ar.

O fluxo veicular demonstrou correlação positiva com muitas características, no entanto não foi possível detectar qual foi mais afetada por este fator, uma vez que as respostas às condições ambientais são peculiares em cada ponto amostral.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD) pelo apoio logístico, a Fundação para o Apoio e Desenvolvimento da Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) para apoio financeiro, e a Coordenação para o Melhoramento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P.H.N.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A. (2001). Estudo anatômico foliar do clone híbrido de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Brazilian Journal of Botany**, 24: 561-566.

ALVES P.L, OLIVA M.A, CAMBRAIA J., SANT'ANNA R. (1990). Efeitos da chuva ácida simulada e de um solo de Cubatão (SP) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese e a transpiração de plantas de soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 2(1):7-14

ALVES, E.S.; TRESMONDI, F.; LONGUI, E.L. (2008). Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 22: 241-248.

ANDRADE JÚNIOR, S.J.; SANTOS JÚNIOR, J.C.S; OLIVEIRA, J.L.; CERQUEIRA, E.M.M.; MEIRELES, J.R.C. (2008). Micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. purpurea Boom: alterações genéticas decorrentes de poluição aérea urbana. **Acta Scientiarum**, 30(3): 295-301.

ARNDT, U.; SCHWEIGER, B. (1991). **The use of bioindicators for environmental monitoring in tropical and subtropical countries**. In Biological monitoring signals from the environment (H. Ellenberg,ed.). Vieweg, Braunschweig, p.199-298.

BORLAND, A.M.; TECSI, L.I.; LEEGOOD, R.C.; WALKER, R.P. (1998) Inducibility of crassulacean acid metabolism (CAM) in *Clusia* species; physiological/biochemical characterization and intercellular localization of carboxylation and decarboxylation processes in three species which exhibit different degrees os CAM. **Planta**, 205: 342-351.

BRIDGES, D.C. (2000). **Plant anatomy and cuticular interaction with herbicide solutions**. In: BRIDGES, D.C. The effect of adjuvants on uptake & Action of postemergence herbicides. University of Georgia. 279p.

BROBOV, R.A. (1955). The leaf structure of *Poa annua* with observations on its smog sensitivity in Los Angeles county. **American Journal of Botany**. 42:467-474.

BUSSOTTI, F.; BOTTACCI, A.; BARTOLESI, A.; GROSSONI, P.; TANI, C. (1995). Morphoanatomical alterations in leaves collected from beech trees (*Fagus sylvatica* L.)

in conditions of natural water stress. **Environmental and Experimental Botany**, 35: 201- 13.

CABO, J.N. Plantas acumuladoras de emissões atmosféricas. (2009). **Developments in Environmental Science**, 9:61-98.

CALABONI, C.; MARTINS, M.B.G.; ROSSI, M.L. (2014). Anatomia foliar e análise de EDX de *Costus spiralis* (Jacq.) Roscoe de ambiente impactado e não impactado do litoral de São Paulo. **Iheringia. Série Botânica**, 68(2), 225-235.

DANTAS-SILVA, L.T.; DANTAS, Ê.W. (2017). Zooplankton (Rotifera, Cladocera And Copepoda) And The Eutrophication In Reservoirs From Northeastern Brazil. **Oecologia Australis**, 17(2):243-248.

DA COSTA, V.B.S.; DA SILVA, W.J.M.S.; DE ALMEIDA, G. M. A.; FERREIRA, M. H.G.; DE OLIVEIRA, T.H.; GALVÍNCIO, J.D.; DE MENDONÇA PIMENTEL, R. M. (2015). Influence of Air Pollution in *Terminalia catappa* L. in Urban Areas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 8(2): 236-252.

DIAS, B.B.; LEITE, M.; FARAGO, P.V.; OLIVEIRA, A.V.; BERUSKI, G.C. (2010). Ação do enxofre em chuva ácida simulada sobre parâmetros morfofisiológicos de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). **Acta Scientiarum**, 32(3):433-9.

ELEFThERIOU, E.P. (1987). A comparative study of the leaf anatomy of olive trees growing in the city and the country. **Environmental and Experimental Botany**, 27: 105-117.

EVANS, L.S.; ADAMSKI, II J.H.; RENFRO, J.R. (1996). Relationships between cellular injury, visible injury of leaves, and ozone exposure levels for several dicotyledonous plant species at Great Smoky Mountains National Park. **Environmental and Experimental Botany**, 36: 229-227.

EVANS, L.S, MILLER, P.R. (1995). Comparative needle anatomy and relative ozone sensitivity of four pine species. **Canadian Journal of Botany**, 50:1067-1071.

FLORES, F.E.V. (1987). O uso de plantas como bioindicadores de poluição no ambiente urbano-industrial: experiências em Porto Alegre, RS, Brasil. **T,binger Geograph ische Studien**, 96:79-86.

GEROSA, G.; MARZUOLI, R.; BUSSOTTI, F.; PANCRAZI, M.; BALLARIN-DENTI, A. (2003). Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. **Environmental Pollution**, 125: 91-98.

GERLACH, G. (1969). **Botanische microtechnikeine einführung**. Georg. Thiem Verlag, Stuttgart .

GOMES, M.P.; MARQUES, T.C.L.L.S.M.; NOGUEIRA, M.O.G.; SILVA, G.H.; CASTRO, E.M.; SOARES, A.M. (2011). Efeitos dos rejeitos da indústria de zinco na

anatomia e crescimento de plantas jovens de *Salix humboldtiana* Willd. (salgueiro). **Hoehnea**, 38(1): 135-142.

GRANT, W.F.; LEE, H.G.; LOGAN, D.M.; SALAMONE, M.F. (1992). The use of *Tradescantia* and *Vicia faba* bioassays for the in situ detection of mutagens in an aquatic environment. **Mutation Research**, 270(1): 53-64.

GRINDON, L.H. (1859). **The Manchester Flora**. W. White, London.

HESS, F.D.; FALK, R.H. (1990). Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Science**, 38(3): 280-288.

JOHANSEN, D.A. (1940). **Plant microtechnique**. Mac Graw Hill Book Company, New York.

JOLY, A.B. (1977). **Botânica: Introdução a taxonomia vegetal**. 4ª edição, São Paulo.

MADISON, M. (1977). Epífitas vasculares: as suas características sistemáticas ocorrência e salientes. **Selbyana**, 2:1-13.

MARKERT, B.A.; BREURE, A.M.; ZECHMEISTER, H.G. (2007). **Definitions, strategies and principles for Bioindication/biomonitoring of the environment**. In *Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts and Applications*. (Eds BA Market, AM Breure and HG Zechmeister) p.3-39. Elsevier, Amsterdam.

MIGUEL, A. H. (1992). Poluição atmosférica urbana no Brasil: uma visão geral. **Química Nova**, 15: 118-24.

MONQUERO, P.A.; CURY, J.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. (2005). Controle pelo glyphosate e caracterização geral da superfície foliar de *Commelina benghalensis*, *Ipomoea hederifolia*, *Richardia brasiliensis* e *Galinsoga parviflora*. **Planta Daninha**, 23(1): 123-132.

MOURA, B.B.; SOUZA, S.R.; ALVES, E.S. (2011). Structural responses of *Ipomoea nil* (L.) Roth Scarlet O'Hara (Convolvulaceae) exposed to ozone. **Acta Botanica Brasilica**, 25: 122-9.

NYLANDER, W. (1866). 'Les lichens du Jardin de Luxembourg'. **Bulletin Société Botanique de France**, 13: 364-372.

PAIVA, É.A.S.; ISAIAS, R.M.D.S.; VALE, F.H.A.; QUEIROZ, C.G.D.S. (2003). The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom (Commelinaceae) leaves. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 46(4): 617-624.

PIFFER, Moacir. (2012). Indicadores de base econômica. In: PIACENTI, Carlos; FERRERA DE LIMA, Jandir (Org.). *Análise regional: metodologias e indicadores*. Curitiba, PR: Camões, p. 51-62.

POMPELLI, M.F.; BARATA-LUÍS, R.M.; VITORINO, H.S.; GONÇALVES, E.R.; ROLIM, E.V.; SANTOS, M.G.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; FERREIRA, V.M.; LEMOS, E.E.; ENDRES, L. (2010). Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass Bioenerg**, 34: 1207-1215.

REIG-ARMIÑANA, J.; CALATAYUD, V.; CERVERÓ, J.; GARCIA-BREIJO, F.J.; IBARS, A.; SANZ, M.J. (2004). Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). **Environmental Pollution**, 132: 321-31.

ROCHA, L.D.; DROSTE, A.; GEHLEN, G.E.; SCHMITT, J.L. (2013). Folha dimorfismo de *Microgramma squamulosa* (Polypodiaceae): a análise qualitativa e quantitativa com foco em adaptações ao epiphytism. **Revista de Biologia Tropical**, 61: 291-299.

SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; DA SILVA, L.C.; AZEVEDO, A.A.; DE ARAÚJO, J.M.; ALVES, E.F.; DA SILVA, E.A.M.; AGUIAR, R. (2006). Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. **Environmental and Experimental Botany**, 58(1): 158-168.

SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; DUQUE-BRASIL, R.; AZEVEDO, A.A.; SILVEIRA, A.D.S.; ARAÚJO, J.M.D.; AGUIAR, R. (2007). Utilização de parâmetros morfoanatómicos na análise da fitotoxidez do flúor em folhas de *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) Spreng. (Magnoliaceae). **Revista Árvore**, 31(4): 761-771.

SAVÓIA, E. J. L.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T.; BRUMATI, F.; SALDIVA, P.H.N. (2008). Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72(1): 255-260.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.da; RAMPELOTTO, M.V.; NICOLOSO, F.T. (2004). Técnica para o estudo da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, 34(5): 1597-1601.

SILVA, L.C.; OLIVA, M.A.; AZEVEDO, A.A.; ARAÚJO, J.M.; AGUIAR, R M. (2005). Micromorphological and anatomical alterations caused by simulated acid rain in restinga plants: *Eugenia uniflora* and *Clusia hilariana*. **Water, Air and Soil Pollution**, 168: 129-143.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (2004). **Fisiologia vegetal**. 3ªed. Trad. Elaina Rebonato Santarém et al. Porto Alegre: Artmed editora S.A., 719 p

VIDAL, R.A.; MEROTTO Jr. (2001). **Herbicidologia**. 1ª ed. Porto Alegre, RS: Evangraf, 152 p.

WELLBURN, A.R. (1990). Tansley Review No 24. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? **New Phytology**, 115: 395-429.

ZIMMERMANN P. RODRIGUES, G.; DALZUCHIO, T.; GEHLEN, G. (2016). Uso do bioensaio com *Allium cepa* L. e análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação da qualidade do Rio da Ilha, RS, Brasil. **Acta toxicológica argentina**, 24(2): 97-104.

CONCLUSÃO GERAL

Neste estudo observamos que altitudes elevadas com baixa umidade relativa do ar somada ao fluxo veicular intenso ocasionou maior frequência de alterações mutagênicas em micronúcleos de grão de pólen de *Tradescantia pallida*. O mapa de interpolação espacial de Kernel permitiu uma visão geral da poluição aérea nas cidades analisadas

Podemos inferir que, alterações da espessura da face superior da cutícula e epiderme, somadas ao índice estomático de *Tradescantia pallida* são respostas biológicas diretamente influenciadas pela altitude, fluxo veicular e temperatura da localidade. Sendo características foliares interessantes no monitoramento ambiental da qualidade do ar.

O fluxo veicular demonstrou correlação positiva com muitas características, no entanto não foi possível detectar qual foi mais afetada por este fator, uma vez que as respostas às condições ambientais são peculiares em cada ponto amostral.

Anexos

Tabela 2. Médias da espessura (μm) da face superior da cutícula de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	0.5000 aA	0.4100 aA	0.4500 aA	0.5000 abcA	0.4900 abA	0.4000 aA	0.3600 bA
Antônio João	0.4400 aAB	0.4700 aAB	0.5000 aA	0.3100 cB	0.4600 bAB	0.5200 aA	0.6000 aA
Aral Moreira	0.5100 aA	0.4700 aA	0.3900 aA	0.5100 abcA	0.4900 abA	0.5700 aA	0.5700 aA
Bela Vista	0.4300 aC	0.4300 aC	0.5000 aBC	0.3400 bcC	0.6900 aA	0.5000 aBC	0.6400 aAB
Coronel Sapucaia	0.4800 aA	0.5200 aA	0.4700 aA	0.5400 abA	0.5700 abA	0.4300 aA	0.4700 abA
Laguna Carapã	0.4400 aA	0.5200 aA	0.3500 aA	0.4300 abcA	0.3700 bA	0.3700 aA	0.5100 abA
Maracaju	0.4300 aABC	0.3700 aC	0.3100 aC	0.5600 aAB	0.5700 abAB	0.4000 aBC	0.6000 aA
Naviraí	0.6000 aA	0.4400 aAB	0.3900 aB	0.4900 abcAB	0.5300 abAB	0.4700 aAB	0.6200 aA
Ponta Porã	0.5000 aAB	0.3800 aB	0.3900 aB	0.5800 aA	0.4700 bAB	0.4900 aAB	0.5200 abAB
Dourados	0.5400 aA	0.3700 aA	0.3600 aA	0.4100 abcA	0.4100 bA	0.4200 aA	0.5100 abA

CV (%) = 30.04

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 3. Médias da espessura (μm) da face inferior da cutícula de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	0.4600 aA	0.3600 abcA	0.4700 abcA	0.5100 aA	0.4800 aA	0.3300 abA	0.3600 abA
Antônio João	0.5000 aAB	0.3500 bcBC	0.5700 aA	0.2600 cC	0.3300 abBC	0.4700 aAB	0.4800 abAB
Aral Moreira	0.4300 aA	0.4000 abcA	0.4500 abcA	0.3900 abcA	0.4500 abA	0.4500 aA	0.4000 abA
Bela Vista	0.3700 aABC	0.5200 abAB	0.5400 abA	0.3100 bcC	0.3500 abBC	0.4000 abABC	0.4700 abABC
Coronel Sapucaia	0.3600 aAB	0.3800 abcAB	0.4000 abcAB	0.5200 aA	0.4900 aA	0.3700 abAB	0.2900 bB
Laguna Carapã	0.4100 aA	0.3800 abcAB	0.4100 abcA	0.2800 bcAB	0.2800 bAB	0.2200 bB	0.3600 abAB
Maracaju	0.4500 aAB	0.4100 abcAB	0.4300 abcAB	0.5800 aA	0.5000 aAB	0.3700 abB	0.5500 aAB
Naviraí	0.4200 aA	0.4300 abcA	0.3500 bcA	0.4700 abAB	0.4300 abA	0.3700 abA	0.4900 aB
Ponta Porã	0.3700 aAB	0.5500 aA	0.3200 cB	0.2800 bcAB	0.5000 aAB	0.3800 abAB	0.4300 abAB
Dourados	0.4600 aA	0.3200 cA	0.3700 bcA	0.4300 abcA	0.3300 abA	0.3600 abA	0.4800 abA

CV (%) = 33.56

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 4. Médias da espessura (μm) da face superior da epiderme de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	53.1500 aA	60.7000 aA	65.5000 abA	58.8500 bcA	66.3300 abA	66.7300 abA	57.1600 bA
Antônio João	51.9100 aC	69.0100 aAB	66.2100 abAB	55.6600 cBC	65.2600 abABC	74.4800 abA	68.8600 abAB
Aral Moreira	53.1900 aB	62.2800 aAB	57.6900 bAB	64.8800 abcAB	68.0900 abA	66.8900 abAB	66.6100 abAB
Bela Vista	61.5500 aB	64.7900 aAB	62.8300 abAB	65.1400 abcAB	76.3500 aA	64.4800 bAB	63.9100 abAB
Coronel Sapucaia	57.4300 aA	58.9500 aA	67.3900 abA	60.7000 abcA	67.9900 abA	65.8700 abA	62.7400 abA
Laguna Carapã	56.2300 aB	59.0800 aAB	62.2800 abAB	68.0900 abcAB	61.7100 abAB	71.8700 abA	65.8500 abAB
Maracaju	66.5500 aAB	58.0900 aB	66.8800 abAB	69.5400 abcAB	58.6200 bB	79.8000 aA	69.8500 abAB
Naviraí	63.0100 aB	63.3600 aB	74.5100 aAB	74.3900 aAB	71.8900 abAB	78.4400 abA	62.2400 abB
Ponta Porã	65.1400 aAB	61.7100 aB	62.0900 abB	70.8900 abAB	70.7400 abAB	77.4900 abA	68.2200 abAB
Dourados	56.4400 aB	54.2800 aB	54.4700 bB	71.8900 abA	61.9600 abAB	73.3100 abA	72.2100 aA
CV (%) = 16.09							

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 5. Médias da espessura (μm) da face inferior da epiderme de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	40.9700 bB	51.4800 abA	48.6500 abAB	50.1900 abAB	47.3100 aAB	47.2600 bcAB	45.6500 abAB
Antônio João	45.8300 abAB	55.8600 aA	53.5200 abA	42.2900 bB	47.9100 aAB	55.8200 abA	41.5100 bB
Aral Moreira	46.3600 abA	50.3600 abA	44.5400 bA	50.9600 abA	45.9900 aA	48.8700 abcA	45.1800 abA
Bela Vista	47.9800 abA	48.7300 abA	50.8500 abA	50.2600 abA	46.0800 aA	51.6600 abcA	48.2500 abA
Laguna Carapã	48.5200 abAB	43.7400 bB	51.4500 abAB	48.2800 abAB	48.6500 aAB	57.7300 abA	50.5800 abAB
Coronel Sapucaia	46.6900 abA	47.5800 abA	47.8500 abA	51.3600 abA	49.5700 aA	44.2400 cA	50.4700 abA
Maracaju	53.0700 aA	47.4500 abA	56.9300 aA	53.2900 aA	48.6600 aA	57.3800 abA	53.9600 aA
Naviraí	50.2200 abAB	43.6000 bB	55.1900 abA	53.4200 aAB	54.9400 aA	54.0700 abcA	47.4400 abAB
Ponta Porã	48.4500 abB	46.2900 abB	46.6300 abB	45.7500 abB	50.7100 aAB	59.2300 aA	48.9500 abB
Dourados	48.5600 abAB	41.5000 bB	48.4800 abAB	54.9400 aA	54.7500 aA	52.1800 abcA	50.2700 abAB

CV (%) = 15.69

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 6. Médias da espessura (μm) da hipoderme de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	244.6400 aA	276.2300 aA	285.7100 aA	229.9200 bA	248.6700 aA	271.5500 aA	252.7300 aA
Antônio João	246.8600 aA	251.7100 aA	273.3500 aA	218.0400 bA	238.6700 aA	276.0300 aA	261.4800 aA
Aral Moreira	218.3300 aA	276.3100 aA	258.4800 aA	251.3300 bA	240.9000 aA	275.5700 aA	264.8400 aA
Bela Vista	282.6900 aA	276.2300 aA	232.9200 aA	213.5300 bA	267.8800 aA	229.0200 aA	263.4600 aA
Coronel Sapucaia	288.1600 aA	263.5900 aA	283.5900 aA	247.7900 bA	240.8000 aA	246.8900 aA	221.6500 aA
Laguna Carapã	253.0200 aA	278.1700 aA	239.5000 aA	275.4500 bA	220.7200 aA	306.7200 aA	249.9400 aA
Maracaju	308.6900 aA	293.1900 aA	249.2900 aA	294.1100 bA	276.5000 aA	284.4600 aA	268.3400 aA
Naviraí	263.4400 aA	289.4100 aA	284.7900 aA	263.2100 bA	263.7100 aA	282.3000 aA	257.9900 aA
Ponta Porã	256.9700 aA	253.7900 aA	245.1000 aA	250.2100 bA	262.3800 aA	275.3700 aA	290.3400 aA
Dourados	253.7000 aB	269.0200 aB	264.5000 aB	491.0100 aA	242.8800 aB	326.0100 aB	290.4700 aB

CV (%) = 35.17

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Médias da espessura (μm) do mesofilo de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	124.6700 abA	137.3100 aA	130.5000 bcA	128.6800 bcA	142.4200 abA	147.7700 aA	139.5700 aA
Antônio João	102.2900 bc	116.3100 aBC	161.2700 abA	119.7500 cBC	141.3200 abAB	146.9800 aAB	137.0300 aAB
Aral Moreira	133.3500 abA	138.0200 aA	132.4800 bcA	132.9000 bcA	141.9500 abA	133.2900 aA	136.9500 aA
Bela Vista	147.5700 aA	125.7300 aAB	116.5300 cAB	113.9600 cB	129.2500 bAB	133.4700 aAB	134.9000 aAB
Coronel Sapucaia	131.5900 abA	124.2600 aA	125.7300 bcA	127.9500 bcA	138.5200 abA	145.0400 aA	155.3100 aA
Laguna Carapã	120.3000 abA	114.0300 aA	125.4300 bcA	128.3900 bcA	129.3100 bA	144.7300 aA	137.1200 aA
Maracaju	130.4000 abBC	126.2100 aC	169.9600 aA	162.1200 abAB	169.9300 aA	169.1000 aA	144.5300 aABC
Naviraí	126.6000 abC	137.4300 aABC	134.7600 abcBC	134.6400 bcBC	170.8200 aA	165.0500 aAB	156.2600 aABC
Ponta Porã	113.8600 abB	122.5900 aB	125.2900 cB	136.0100 abcAB	137.1900 abAB	163.3300 aA	162.2000 aA
Dourados	123.5000 abCD	118.1700 aD	133.2100 bcBCD	170.8200 aA	144.5500abABCD	153.3200aABC	158.0400 aAB
CV (%) = 18.43							

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 8. Médias índice estomático (%) de *Tradescantia pallida* durante o ano de 2015 e 2016, em dez cidades de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Cidades	Agosto/2015	Outubro/2015	Dezembro/2015	Fevereiro/2016	Abril/2016	Junho/2016	Agosto/2016
Amambai	18.7975 aA	19.4430 aA	18.6000 abA	18.1315 aA	17.7695 abcAB	14.9650 dB	17.4110 aAB
Antônio João	16.3860 abB	15.9780 bB	16.0065 bB	18.2460 aAB	20.2975 aA	16.3320 bcdB	16.8245 aB
Aral Moreira	14.7760 bB	16.8420 abAB	19.4905 aA	16.4085 aB	16.0565 bcB	17.1925 abcdAB	16.8800 aAB
Bela Vista	18.1115 aAB	19.2970 aA	17.3930 abAB	18.0740 aAB	17.2615 abcAB	15.1815 cdB	18.4280 aA
Coronel Sapucaia	16.9470 abA	16.9980 abA	17.4005 abA	17.0950 aA	16.9060 bcA	16.9130 abcdA	17.8130 aA
Laguna Carapã	16.4940 abA	16.5410 abA	17.6642 abA	17.5570 aA	18.5165 abA	17.0680 abcdA	19.0910 aA
Maracaju	16.7110 abBC	14.9150 bC	19.5250 aAB	16.9965 aABC	14.9080 cC	19.7280 aA	18.4185 aAB
Naviraí	17.0705 abA	15.8170 bA	17.8820 abA	16.8415 aA	16.0070 bcA	18.3295 abcA	17.1100 aA
Ponta Porã	16.2235 abBC	14.8355 bC	17.3125 abABC	15.1020 aC	16.0360 bcBC	19.3255 abA	18.4385 aAB
Dourados	19.2650 aA	19.3450 aA	17.1685 abA	17.3800 aA	19.0055 abA	16.6815 abcdA	17.7460 aA

CV (%) = 13.06

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo o Teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

