

TRADESCANTIA PALLIDA VAR. PURPUREA (COMMELINACEAE) E BIOMONITORAMENTO DA GENOTOXICIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, RS, BRASIL

Karen Caon¹
Gustavo Marques da Costa²
Mara Betânia Brizola Cassanego³
Annette Droste⁴

Recebido em 08.06.2016; Aceito em 01.07.2016.

Abstract

The emission of pollutants from industrial processes and the intense vehicular traffic has changed the quality of the atmospheric air in urban centers. *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom is a biomonitor plant sensitive to genotoxic agents and is used to evaluate the air quality through the micronuclei bioassay (Trad-MCN bioassay). The study aimed to monitor the genotoxic potential of the atmospheric air using the micronuclei bioassay in *T. pallida* var. *purpurea* in three sites of the Caxias do Sul municipality, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, and to verify the influence of meteorological conditions on the formation of micronuclei. The sites were named center, industrial area and agricultural area due to the nature of their occupation. The biomonitoring was realized bimonthly from November 2012 to October 2013, totaling six samplings at each site. Cuttings of *T. pallida* var. *purpurea* with flower buds, partially submerged in distilled water were exposed for 8 h to the atmospheric air at each site. For the negative control, cuttings were exposed in a climate-controlled room. The micronuclei frequencies ranged from 3.30 to 8.27 in the center, from 2.70 to 5.80 in the industrial area and from 2.30 to 3.43 in the agricultural area. The negative control showed frequencies of 1.33 to 1.57. The meteorological conditions did not influence the formation of micronuclei. The results obtained evidenced the efficiency of *T. pallida* var. *purpurea* for monitoring the genotoxic potential of the atmospheric air. We suggest to government agencies

¹ Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Doutoranda em Qualidade Ambiental na Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, ERS 239, 2755, CEP 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. Bolsista – CAPES. E-mail: caonkaren@hotmail.com

² Doutor em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, ERS 239, 2755, CEP 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: markesdakosta@hotmail.com

³ Doutora em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale, ERS 239, 2755, CEP 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: maxyuri@terra.com.br

⁴ Doutora em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professora titular do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale, Laboratório de Biotecnologia Vegetal, ERS 239, 2755, CEP 93525-075, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: annette@feevale.br.

implementing the Trad-MCN bioassay for the diagnostic and management of the atmospheric quality, mainly in municipalities in which there are influences from pollutants of different sources.

Key words: Atmospheric pollution. Biomonitor. Environmental quality.

Resumo

A emissão de poluentes por processos industriais e pelo intenso tráfego veicular tem alterado a qualidade do ar atmosférico em centros urbanos. *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom é uma planta biomonitora sensível a agentes genotóxicos e é utilizada para avaliação da qualidade do ar por meio do bioensaio de micronúcleos (bioensaio Trad-MCN). O estudo teve como objetivo realizar o monitoramento do potencial genotóxico do ar atmosférico com o uso de *T. pallida* var. *purpurea* em três sítios no município de Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, bem como verificar a influência de condições meteorológicas sobre a formação de micronúcleos. Os sítios foram denominados de centro, área industrial e área agrícola devido à natureza de sua ocupação. O biomonitoramento foi realizado bimensalmente, de novembro de 2012 a outubro de 2013, totalizando seis amostragens em cada sítio. Ramos de *T. pallida* var. *purpurea* com botões florais, parcialmente submersos em água destilada, foram expostos por 8 h ao ar atmosférico em cada sítio. Para o controle negativo, ramos foram expostos em sala climatizada. As frequências de micronúcleos variaram de 3,30 a 8,27 no centro, de 2,70 a 5,80 na área industrial e de 2,30 a 3,43 na área agrícola. O controle negativo apresentou frequências entre 1,33 e 1,57. As condições meteorológicas não influenciaram a formação de micronúcleos. Os resultados obtidos evidenciaram a eficiência de *T. pallida* var. *purpurea* para o monitoramento do potencial genotóxico do ar atmosférico. Sugere-se aos órgãos públicos a implementação do bioensaio Trad-MCN para o diagnóstico e a gestão da qualidade atmosférica, principalmente em municípios onde ocorrem influências de fontes poluidoras de diferentes naturezas.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Biomonitor. Qualidade ambiental.

Introdução

A degradação da qualidade do ar atmosférico decorre de diferentes atividades humanas, como a industrialização, o crescimento desordenado de centros urbanos, a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e o uso constante de produtos químicos na agricultura (Merlo *et al.*, 2011). Em regiões com aglomeração urbana, a atmosfera apresenta uma variedade de poluentes originados de fontes móveis e estacionárias, oriundas principalmente do tráfego veicular e de emissões industriais (Teixeira *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2013). Os principais poluentes liberados no ar são dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de enxofre e de nitrogênio, ozônio, material particulado, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Meireles *et al.*, 2009; Alves *et al.*, 2011; Teixeira *et al.*, 2012; Carreras *et al.*, 2013).

Espécies vegetais utilizadas como biomonitoras apresentam alta sensibilidade à poluição atmosférica em relação aos animais, uma vez que possuem desenvolvimento e ciclo reprodutivo mais rápido, sendo capazes de responder às condições ambientais em um curto período de tempo (Alves *et al.*, 2001). Os biomonitores constituem uma ferramenta de grande importância para a avaliação qualitativa e quantitativa do ar, além de contribuírem para a identificação de áreas de referência e críticas em uma determinada região (Meireles *et al.*, 2009; Merlo *et al.*, 2011). As respostas destes organismos indicadores podem ser observadas em níveis microscópicos ou macroscópicos, como danos genéticos, cloroses, necroses, queda foliar ou diminuição no seu crescimento (Alves *et al.*, 2001).

Tradescantia pallida (Rose) D.R. Hunt. var. *purpurea* Boom (Commelinaceae) tem sido utilizada como biomonitora em estudos realizados na América do Sul devido à sua capacidade de adaptação às condições ambientais (Chimpan & Sipos, 2009). O bioensaio Trad-MCN em *Tradescantia*, descrito por Ma *et al.* (1978), 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).

O bioensaio Trad-MCN tem sido utilizado para avaliar o potencial genotóxico da poluição atmosférica em centros urbanos. No Brasil, estudos com o uso de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* vêm sendo realizados especificamente em regiões metropolitanas, como nos estados de São Paulo (Savóia *et al.*, 2009; Teixeira & Barbério, 2012; Santos *et al.*, 2015), Bahia (Meireles *et al.*, 2009; Sisenando *et al.*, 2011), Minas Gerais (Pereira *et al.*, 2013, 2014), Rio Grande do Sul (Costa & Droste, 2012; Blume *et al.*, 2014; Cassanego *et al.*, 2015). No município de Caxias do Sul, pertencente à região da Serra Gaúcha, no Estado do Rio Grande do Sul, não há registros de avaliação da genotoxicidade do ar, sendo que para este município foi encontrado apenas o estudo de Mazzoni *et al.* (2012), que avaliaram o nível de contaminação de metais pesados em uma área rural e industrial, por meio da utilização de musgos bioindicadores.

O monitoramento de poluentes atmosféricos é de fundamental importância para o diagnóstico da qualidade de ecossistemas, bem como para a identificação de possíveis efeitos sobre a biota e a saúde humana (Mariani *et al.*, 2009; Isidori *et al.*, 2003). Estudos de qualidade do ar são relevantes para Caxias do Sul, considerando que este apresenta uma frota estimada em 297.275 veículos e possui o segundo maior polo metal mecânico do país, com mais de 26 mil empresas atuando no município (IBGE, 2016), que também é um dos maiores produtores de uva e vinho da região (UVIBRA, 2016).

Este estudo teve como objetivo realizar o monitoramento do potencial genotóxico do ar atmosférico com o uso do bioensaio de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, em três sítios de Caxias do Sul, bem como verificar a influência de condições meteorológicas sobre a formação de

micronúcleos. A hipótese deste estudo é de que ocorram poluentes atmosféricos que podem resultar em efeitos genotóxicos aos organismos neste município.

Material e Métodos

Área de estudo

O município de Caxias do Sul (29°10'04"S e 51°10'44"O) está localizado na região Sul do Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul, na sub-região da Serra (Figura 1), com altitude de 817 metros e área territorial de 1.652 km², estando inserido no Bioma Mata Atlântica. A população é composta por cerca de 474 mil habitantes, e o município se caracteriza por intensa urbanização e forte industrialização, além de possuir extensas áreas agrícolas (IBGE, 2016).

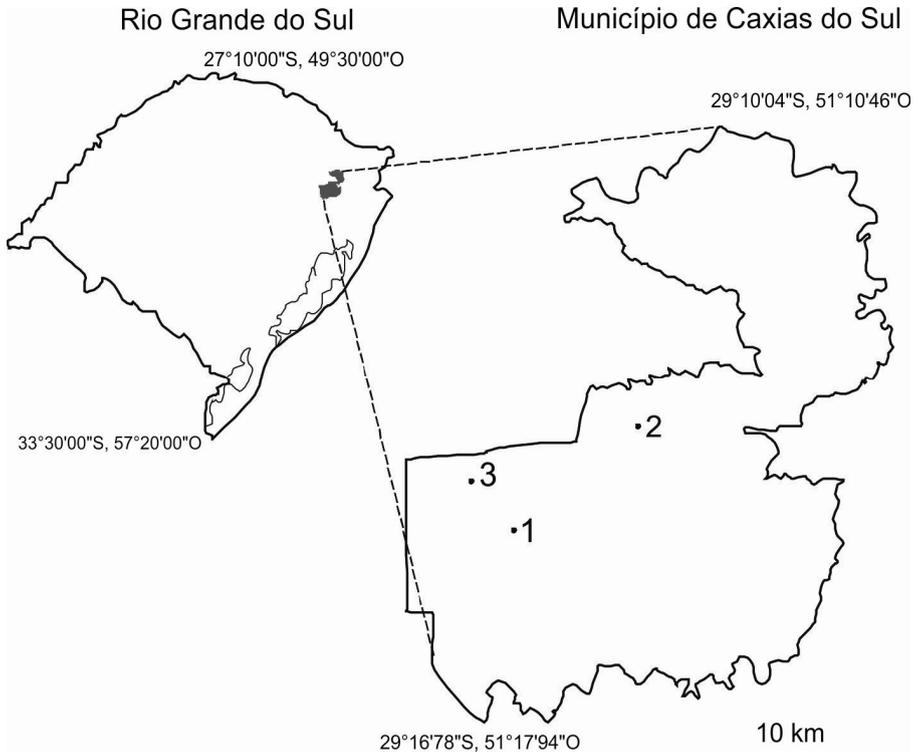


Figura 1. Localização dos sítios (1 – centro, 2 – área industrial, 3 – área agrícola), no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Delio Endres Júnior.

Sítios

O primeiro sítio (29°09'57" S e 51°10'49" O, alt. 769 m) foi denominado de centro. Os ramos de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram expostos no pátio

de um edifício localizado em uma via principal do município, com intenso tráfego de veículos automotores e paradas de ônibus. O segundo sítio (29°07'00"S e 51°06'00"O, alt. 664 m), denominado de área industrial, localiza-se no polo industrial de Ana Rech, bairro com sede administrativa, distante cerca de 12 km do primeiro sítio. Os ramos foram expostos entre os pavilhões industriais. O terceiro sítio (29°07'09"S e 51°13'23"O, alt. 793 m), denominado de área agrícola, localiza-se a 6 km do sítio denominado de centro, no bairro Nossa Senhora da Saúde, caracterizado pelo cultivo de videira (*Vitis* sp. - Vitaceae) e pela presença de vinícolas. Os ramos foram expostos sob um parreiral.

Os três sítios se localizam na área urbana de Caxias do Sul e estão sob o mesmo regime climático com verões amenos, invernos relativamente frios e geadas frequentes. Segundo Peel *et al.* (2007), baseado no sistema de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, clima temperado úmido, caracterizado por apresentar temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio entre -3°C e 18°C. A precipitação na região distribui-se de forma relativamente uniforme, com média anual de 1.915 mm (FEPAGRO, 2016). O solo da região é classificado como cambissolo húmico, típico de regiões onde a alta pluviosidade e as baixas temperaturas favorecem a acumulação da matéria orgânica (Streck *et al.*, 2008).

Material biológico e bioensaio Trad-MCN

Tradescantia pallida var. *purpurea* (Figura 2) pertence às Commelinaceae, que compreendem cerca de 42 gêneros e 650 espécies (Panigo *et al.*, 2011). A espécie é nativa da América do Norte e da América Central (México e Honduras), de hábito herbáceo, com folhas lanceoladas, presença de tricomas e inflorescência que se origina no meristema apical dos ramos (Panigo *et al.*, 2011; Souza & Lorenzi, 2012).



Figura 2. *Tradescantia pallida* var. *purpurea* com inflorescências protegidas por duas brácteas. Fonte: autores.

Espécimes de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivados em vasos (37 cm x 20 cm x 20 cm) contendo 4 kg de solo comercial do mesmo lote e mantidos no campus da universidade. As plantas foram regadas três vezes por semana e, mensalmente fertilizadas com 100 mL de solução N:P:K (nitrogênio:fósforo:potássio, 10:10:10, v:v:v) (Thewes *et al.*, 2011). Todas as plantas foram obtidas a partir de propagação vegetativa, com propágulos provindos da mesma população.

O biomonitoramento da genotoxicidade do ar atmosférico foi realizado bimensalmente, entre os meses de novembro de 2012 e outubro de 2013, totalizando seis amostragens em cada sítio. Para cada amostragem e sítio, vinte ramos (10 a 15 cm de comprimento) de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* com botões florais foram coletados e mantidos parcialmente submersos em um recipiente com 2 L de água destilada por 24 horas, em sala climatizada, período denominado de adaptação. Após, esse recipiente foi transportado em caixa térmica até o sítio, onde os ramos foram expostos ao ar atmosférico por 8 h (das 9 às 17 h), em 2 L de água destilada. Posteriormente, os ramos foram mantidos por 24 h em sala climatizada, período denominado de recuperação. Ao longo do monitoramento, no total, foram expostos 120 ramos dispostos em seis recipientes (um por amostragem) por sítio. Simultaneamente, foram realizados controles negativos, seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente, com exposição de 20 ramos por recipiente para cada amostragem, por 8 h, ao ar em sala climatizada (Cassanego *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2015).

Após o período de recuperação, os botões florais foram fixados em solução de etanol absoluto:ácido acético (3:1 v:v) por 24 h e, em seguida, armazenados em álcool etílico 70% sob refrigeração (4°C). Para a preparação das lâminas e análise das células meióticas, botões florais foram dissecados e as anteras maceradas com carmim acético 1%. Em cada lâmina, foram contadas 300 tétrades jovens de células-mãe de grãos de pólen e registrado o número de micronúcleos (MCN), totalizando 10 lâminas para cada sítio e para o controle negativo, por amostragem, em microscopia óptica (Olympus CX4), aumento de 400 vezes (Thewes *et al.*, 2011). Os MCN considerados apresentavam diâmetro inferior a um terço do núcleo e encontravam-se separados e com coloração semelhante ao mesmo (Grisolia, 2002). As frequências de MCN foram expressas em MCN/100 tétrades (Thewes *et al.*, 2011).

Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar nos sítios com auxílio de um termohigroanemômetro digital portátil (modelo THAL-300) em cada dia de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. Uma média diária foi calculada a partir de três medições realizadas (às 9, 13 e 17h). Dados de precipitação do município foram fornecidos pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) (29°07'25"S e 51°01'04"O, altitude de 818 m), localizada em Caxias do Sul (FEPAGRO, 2016). Foram considerados os dados de precipitação acumulada dos quatro dias antecedentes e do dia de exposição dos ramos com inflorescências.

Análise estatística

As frequências de MCN foram submetidas ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram verificadas pelos testes de Dunnett e Tukey, a 5% de probabilidade. O coeficiente de correlação de Pearson foi aplicado para verificar a relação entre as frequências de MCN e as variáveis meteorológicas (temperatura média, umidade relativa média do ar e precipitação acumulada) registradas nos três sítios. As análises foram realizadas utilizando o programa SPSS versão 22.

Resultados

As frequências de MCN registradas nos botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos nos três sítios avaliados foram significativamente superiores às daquelas do controle negativo, nos meses de janeiro e março de 2013. As maiores frequências de MCN foram observadas nos botões florais expostos ao centro e à área industrial (8,27 e 5,80, respectivamente), no mês de novembro de 2012. De modo geral, as frequências de MCN evidenciadas nestes dois sítios diferiram estatisticamente em relação ao controle negativo. Por outro lado, as menores frequências de MCN foram evidenciadas no sítio agrícola, nos meses de novembro de 2012 (2,77) e outubro de 2013 (2,30), que não diferiram significativamente quando comparadas ao controle negativo (Tabela 1).

Ao longo das seis exposições, as frequências de MCN observadas nos botões florais expostos no sítio agrícola e no controle negativo não apresentaram diferença significativa. Por sua vez, as frequências de MCN registradas para o centro e para a área industrial diferiram significativamente entre os meses amostrados (Tabela 1).

Os dias mais quentes de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* ocorreram em novembro de 2012 e janeiro de 2013, sendo que o dia mais frio foi registrado em junho de 2013 (Tabela 2). A umidade média relativa do ar nos dias de exposição variou de 47,7% (agosto de 2013) a 68,7% (junho de 2013). Nos meses de março (55,7 mm) e agosto (75,7 mm) de 2013, foram registradas as maiores precipitações acumuladas nos quatro dias antecedentes e no dia de exposição dos ramos com botões florais. Em novembro de 2012, junho e outubro de 2013, não houve precipitação (Tabela 2).

Tabela 1. Frequência de MCN em botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos nos três sítios, no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul.

Exposições	Frequência de MCN (média ± desvio padrão)				F	p
	Centro	Industrial	Agrícola	Controle		
Novembro 2012	8,27 ± 2,54aA	5,80 ± 3,60abA	2,77 ± 1,30bcA	1,57 ± 0,23cA	17,252	□0,001
Janeiro 2013	3,57 ± 1,19bB	5,30 ± 1,14aAB	3,40 ± 1,12bA	1,53 ± 0,48cA	22,658	□0,001
Março 2013	3,97 ± 1,74aB	3,50 ± 1,42aAB	3,43 ± 0,97aA	1,33 ± 0,35bA	9,016	□0,001
Junho 2013	3,30 ± 2,16abB	2,70 ± 1,58abB	3,33 ± 1,62aA	1,53 ± 0,52bA	2,800	0,054
Agosto 2013	4,33 ± 1,95aB	3,50 ± 2,45abAB	2,70 ± 0,99aA	1,43 ± 0,32bA	5,601	0,003
Outubro 2013	4,13 ± 2,31aB	3,37 ± 1,35aAB	2,30 ± 1,43abA	1,53 ± 0,39bA	5,622	0,003
F	8,202	3,385	1,369	0,506		
p	<0,001	0,010	0,250	0,770		

Letras minúsculas na linha indicam diferença significativa entre médias de acordo com o teste de Dunnett, e letras maiúsculas na coluna indicam diferença significativa entre médias de acordo com o teste de Tukey ($p=0,05$).

O coeficiente de correlação de Pearson indicou que não houve relação entre a frequência de MCN e a precipitação acumulada ($r= 0,167$; $p=0,508$). As médias da temperatura e da umidade relativa do ar nos sítios também não apresentaram relação com a frequência de MCN ($r=0,374$; $p=0,126$ e $r=-0,255$; $p=0,307$, respectivamente).

Tabela 2. Médias de temperatura e umidade relativa do ar registradas durante a exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* e precipitação acumulada nos quatro dias antecedentes e no dia da exposição, no município de Caxias do Sul, de novembro de 2012 a outubro de 2013.

Exposição	Sítio	Temperatura	Umidade relativa do ar	Precipitação acumulada
		(°C)	(%)	(mm)
Novembro 2012	Centro	27,7	62,7	0,0
	Industrial	28,0	62,0	
	Agrícola	29,0	64,3	
Janeiro 2013	Centro	26,3	54,0	1,1
	Industrial	26,3	55,3	
	Agrícola	28,7	51,7	
Março 2013	Centro	22,3	59,3	55,7
	Industrial	24,0	56,0	
	Agrícola	24,3	58,0	
Junho 2013	Centro	19,0	63,7	0,0
	Industrial	20,7	61,2	
	Agrícola	20,0	68,7	

Agosto 2013	Centro	24,0	47,7	75,7
	Industrial	23,3	49,7	
	Agrícola	23,7	49,7	
Outubro 2013	Centro	20,33	65,30	0,00
	Industrial	22,66	64,70	
	Agrícola	22,33	67,70	

Discussão

As frequências de MCN observadas nos botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* demonstraram genotoxicidade do ar nos sítios avaliados no município de Caxias do Sul, evidenciando efeitos dos poluentes atmosféricos sobre os organismos vivos. Frequências de até 2,0 MCN em botões florais de *T. pallida* var. *purpurea* podem ocorrer por mutações espontâneas, mesmo quando as plantas são mantidas em ambiente sem a interferência de agentes poluentes (Pereira *et al.*, 2013), tal como observado nas amostras do controle negativo do presente estudo. As variações observadas nas frequências de MCN nos botões florais expostos no centro podem estar relacionadas com o tráfego veicular dinâmico e de intensidades variadas ao longo do tempo (Pereira *et al.*, 2013; Cassanego *et al.*, 2015). A aglomeração de veículos automotores em semáforos e paradas de ônibus provavelmente intensifica a emissão de poluentes ao ar atmosférico. Além disso, as edificações também podem influenciar na dispersão de poluentes (Carreras *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2013).

Os dados registrados no presente trabalho corroboram com a literatura, uma vez que elevadas frequências de MCN também foram registradas em botões florais de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostos em diferentes ambientes em municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre e da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, no Estado do Rio Grande do Sul. Costa & Droste (2012) observaram frequências de 1,03 a 8,13 MCN em plantas expostas em uma área rural no município de Novo Hamburgo e em área urbana no município de Estância Velha, localizados no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos. Blume *et al.* (2014) observaram frequências entre 4,77 e 8,28 MCN em um sítio urbano no município de Sapucaia do Sul, também no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos. Cassanego *et al.* (2015) registraram frequências entre 2,13 e 7,23 MCN em áreas urbanas e de 1,50 a 4,80 em ambientes de mata ciliar, localizados nos trechos superior, médio e inferior da Bacia do Rio dos Sinos. Em outros estados do Brasil, Savóia *et al.* (2009) registraram frequências de MCN de até 4,6 no município de Santo André (São Paulo), Meireles *et al.* (2009) de até 2,1 em Feira de Santana (Bahia), Pereira *et al.* (2013) de até 5,0 MCN em Uberlândia (Minas Gerais) e Santos *et al.* (2015) observaram frequências de aproximadamente 4,0 MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* expostas em áreas com alto tráfego veicular no município de Ribeirão Preto (São Paulo). Também há registros comparáveis para a Argentina, no município de Córdoba, no qual Carreras *et al.* (2009) registraram frequências de 3,6 MCN em *T. pallida* var. *purpurea* exposta em área urbana com intenso tráfego veicular e 1,7 MCN em amostras expostas em um bairro residencial com vegetação abundante.

Os sítios amostrados no presente estudo são relativamente próximos entre si e encontram-se no perímetro urbano, o que pode contribuir para os resultados obtidos e explicar, pelo menos parcialmente, o padrão de genotoxicidade encontrado entre os ambientes avaliados. Salienta-se que a área agrícola de Caxias do Sul, além de fazer parte do perímetro urbano, também está exposta aos efeitos de agrotóxicos, devido ao uso destes no cultivo de videiras (FEPAGRO, 2016).

Os resultados obtidos na área industrial foram semelhantes nos diferentes períodos do biomonitoramento, possivelmente devido à constante emissão de fontes estacionárias de poluição atmosférica no ambiente, além de fontes móveis oriundas do intenso tráfego de veículos automotores na área urbana e na rodovia federal BR-116, situada próxima à região central do município. Um estudo realizado na região industrial e rural de Caxias do Sul, no bairro Ana Rech, avaliou o nível de contaminação de metais pesados com o uso de musgos bioindicadores. Este estudo indicou diferenças significativas nas concentrações de zinco, cobre, chumbo e cromo entre as áreas industrial e rural (Mazzoni *et al.*, 2012). As principais fontes de emissão de metais pesados são as indústrias e o tráfego veicular (Teixeira *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2015).

No presente estudo, não foi identificada a influência das variáveis temperatura, umidade relativa do ar e precipitação sobre a formação de MCN em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. A não ocorrência de relação entre as frequências de MCN e as condições meteorológicas, está relacionada ao fato de não terem sido registradas condições meteorológicas extremas durante o período de exposição do organismo biomonitor, corroborando com o estudo de Blume *et al.* (2014). Entretanto, Savóia *et al.* (2009), Pereira *et al.* (2013) e Cassanego *et al.* (2015) observaram a influência de variáveis meteorológicas sobre a formação de MCN em *T. pallida* var. *purpurea* exposta em diferentes ambientes, justificando que tal influência pode estar relacionada a condições extremas ocorridas durante o período de biomonitoramento da genotoxicidade do ar atmosférico.

A hipótese de que o aumento de poluentes atmosféricos em Caxias do Sul pode levar à genotoxicidade do ar atmosférico foi confirmada. Os resultados obtidos evidenciaram a eficiência de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* para o biomonitoramento do potencial genotóxico do ar atmosférico, contribuindo para avaliação da qualidade ambiental.

Considerações Finais

O ar atmosférico no município de Caxias do Sul apresentou efeito genotóxico nos três sítios avaliados. O bioensaio Trad-MCN fornece informações sobre a qualidade ambiental e possibilita o registro de possíveis efeitos de poluentes sobre os organismos vivos. Embora no presente estudo não tenha sido verificada relação entre variáveis meteorológicas e a formação de micronúcleos, o levantamento destes dados é importante, uma vez que aponta para a plasticidade da planta biomonitora frente às condições ambientais, o que permite atribuir o dano genético às influências de poluentes atmosféricos.

Considerando que o método de biomonitoramento com *Tradescantia pallida* var. *purpurea* constitui uma ferramenta importante para a avaliação das condições peculiares de cada ambiente, sugere-se aos órgãos públicos a implementação do bioensaio Trad-MCN como uma técnica para o diagnóstico e a gestão da qualidade atmosférica, principalmente em municípios onde ocorrem influências de fontes poluidoras de diferentes naturezas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Feevale pela infraestrutura disponibilizada e pelo apoio financeiro, bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROSUP) pela bolsa de doutorado 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 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. *Revista Brasileira de Botânica* 24(4): 567-576.
- ALVES, N.O.; LOUREIRO; A.L.M.; SANTOS, F.C.; NASCIMENTO, K.H.; DALLACORT, R. & VASCONCELLOS, P.C.; HACON, S.S.; ARTAXO, P. & MEDEIROS, S.R.B. 2011. Genotoxicity and composition of particulate matter from biomass burning in the eastern Brazilian Amazon region. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74: 1427-1433.
- 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.
- CARRERAS, H.A.; RODRIGUEZ, J.H.; GONZALEZ, C.M.; WANNAZ, E.D.; FERREYRA, F.G.; PEREZ, C.A. & PIGNATA, M.L. 2009. Assessment of the relationship between total suspended particles and the response of two biological indicators transplanted to an urban area in central Argentina. *Atmospheric Environment* 43: 2944-2949.
- CARRERAS, H.A.; CALDERÓN-SEGURA, M.E.; GÓMEZ-ARROYO, S.; MURILLO-TOVAR, M.A. & AMADOR-MUÑOZ, O. 2013. Composition and mutagenicity of PAHs associated with urban airborne particles in Córdoba, Argentina. *Environmental Pollution* 178: 403-410.
- CASSANEGO, M.B.B.; COSTA, G.M.; SASAMORI, M.H.; ENDRES JÚNIOR, D.; PETRY, C.T. & DROSTE, A. 2014. The *Tradescantia pallida* var. *purpurea* active bioassay for water monitoring: evaluating and comparing methodological conditions. *Revista Ambiente & Água* 9(3): 424-433.
- CASSANEGO, M.B.B.; SASAMORI, M.H.; PETRY, C.T. & DROSTE, A. 2015. Biomonitoring the genotoxic potential of the air on *Tradescantia pallida* var. *purpurea* under climatic conditions in the Sinos River Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 75(4): 79-87.
- CHIMPAN, C. & SIPOS, M. 2009. Anatomy of the vegetative organs of *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. *Biharian Biologist* 3(1):1-4.
- COSTA, G.M. & DROSTE, A. 2012. 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(4): 801-806.
- COSTA, G.M.; CASSANEGO, M.B.B.; PETRY, C.T.; SASAMORI, M.H.; ENDRES JÚNIOR, D. & DROSTE, A. 2015. Avaliação da influência do tempo de exposição de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* para biomonitoramento da genotoxicidade do ar atmosférico. *Revista Brasileira de Biociências* 13(4):224-230.

- FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. 2016. Disponível em: <<http://www.fepagro.rs.gov.br>> Acesso em: 02 maio 2016.
- GRISOLIA, C.K.A. 2002. Comparison between mouse and fish micronucleus test using cyclophosphamide, mitomycin C and various pesticides. *Mutation Research* 518: 145-150.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 28 fevereiro 2016.
- ISIDORI, M.; FERRARA, M.; LAVORGNA, M.; NARDELLI, A. & PARRELA, A. 2003. *In situ* monitoring of urban air in Southern Italy with the *Tradescantia* micronucleus bioassay and semipermeable membrane devices (SPMDs). *Chemosphere* 52: 121-126.
- 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.
- 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.
- MARIANI, R.L.; JORGE, M.P.M.; PEREIRA, S.S.; MELIONE, L.P.; CARVALHO-OLIVEIRA, R. & MA T. H. & SALDIVA, P.H.N. 2009. Association between micronuclei frequency in pollen mother cells of *Tradescantia* and mortality due to cancer and cardiovascular diseases: a preliminary study in São José dos Campos, Brazil. *Environmental Pollution* 157: 1767-1770.
- MAZZONI, A.C.; LANZER, R.; BORDIN, J.; SCHAFER, A. & WASUM, R. 2012. Mosses as indicators of atmospheric metal deposition in an industrial area of southern Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 26(3): 553-558.
- MEIRELES, J.; ROCHA, R.; NETO, A.C. & CERQUEIRA, E. 2009. Genotoxic effects of vehicle traffic pollution as evaluated by micronuclei test in *Tradescantia* (Trad-MCN). *Mutation Research* 675: 46-50.
- MERLO, C.; ABRIL, A.; AMÉ, M.V.; ARGÜELO, G.A.; CARRERAS, H.A.; CHIPPERO, M.S.; HUED, A.C.; WANNAZ, E.; GALANTI, L.N.; MONFERRÁN, M.V.; GONZÁLEZ, C.M. & SOLÍS, V.M. 2011. Integral assessment of pollution in the Suquia River (Córdoba, Argentina) as a contribution to lotic ecosystem restoration programs. *Science of the Total Environment* 409: 5034-5045.
- PANIGO, E.; RAMOS, J.; LUCERO, L.; PERRETA, M. & VEGETTI, A. 2011. The inflorescence in Commelinaceae. *Flora* 206: 294-299.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L. & MCMAHON, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion* 4: 439-473.
- PEREIRA, B.B.; CAMPOS JÚNIOR, E.O. & MORELLI, S. 2013. *In situ* biomonitoring of the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil, using a *Tradescantia* micronucleus assay. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 87: 17-22.
- PEREIRA, B.B.; CAMPOS JÚNIOR, E.O.; LIMA, E.A.P.; BARROZO, M.A.S. & MORELLI, S. 2014. Biomonitoring air quality during and after a public transportation strike in the center of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil by *Tradescantia* micronucleus bioassay. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 3680-3685.
- SANTOS, A.P.M.; SEGURA-MUÑOZ, S.I.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J.L.; MARTINEZ, C.A. & TAKAYAHNAGUI, A.M.M. 2015. Traffic-related air pollution biomonitoring with *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(39): 1-10.
- SAVÓIA, E.J.L.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T.; BRUMATI, F. & SALDIVA, P.H.N. 2009. 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: 255-260.

SISENANDO, H.A.; MEDEIROS, S.R.B.; SALDIVA, P.H.N; ARTAXO, P. & HACON, S.S. 2011. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian Legal Amazon by *Tradescantia* micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. *Environmental Health* 10(41): 1-10.

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.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. 222 p.

TEIXEIRA, M.C.V. & BARBÉRIO, A. 2012. Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var *purpurea* Boom (Commelinaceae). *Revista Ambiente & Água* 7(3): 279-292.

TEIXEIRA, E.C.; MATTIUZI, C.D.P.; FELTES, S.; WIEGAND, F. & SANTANA, E.R.R. 2012. Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84(3): 655-667.

THEWES, M.R.; ENDRES JUNIOR, D. & DROSTE, A. 2011. Genotoxicity biomonitoring of sewage in two municipal wastewater treatment plants using the *Tradescantia pallida* var. *purpurea* bioassay. *Genetics and Molecular Biology* 34(4): 689-693.

UVIBRA - União Brasileira de Vitivinicultura. Panorama 2012. 2016. Disponível em: <<http://www.uvibra.com.br/pdf/Panorama%202012%20%20Vitivinicultura%20Brasileira.pdf>> Acesso em: 03 abril 2016.