



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Efeito da sílica atmosférica por atividade mineradora sobre plantas e saúde renal em seres humanos

Mariana Simonato Lorenzini¹, João Pedro Ribeiro Baptista², Maria Helena Naumann Gaertner³, Helbert do Nascimento Lima⁴, João Carlos Ferreira de Melo Júnior⁵

¹ Graduada em Medicina pela Universidade da Região de Joinville – Joinville/ SC. Mestre em Saúde e Meio Ambiente pela Universidade da Região de Joinville – Joinville/ SC. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6051-3612>.

² Curso de Medicina da Universidade da Região de Joinville – Joinville/ SC. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1760-4460>

³ Graduada em Medicina pela Universidade da Região de Joinville – Joinville/ SC. Pós Graduanda na Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8970-3604>

⁴ Professor do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente – Joinville/SC. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0081-6897>

⁵ Professor do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente – Joinville/SC. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9506-5218> (autor correspondente)

Artigo recebido em 01/05/2023 e aceito em 24/01/2024

RESUMO

Este estudo objetivou demonstrar as injúrias morfológicas e fisiológicas provocadas pela poluição atmosférica por sílica em plantas e correlacionar com a presença de níveis elevados de sílica na urina de seres humanos em área de mineração de rocha. Trata-se de um estudo transversal, observacional e analítico que analisou a espécie de planta *Piper gaudichaudianum* e 51 amostras de urina de pessoas de dois pontos amostrais (poluído e controle). Os atributos funcionais foliares foram comparados por teste T e registrados em MEV para análise do material particulado na folha. A sílica na urina foi verificada pela razão da dosagem de sílica em amostra simples de urina por meio de ICP-OES e creatinina urinária por método colorimétrico. Verificou-se uma maior concentração de material particulado sobre a superfície foliar de *P. gaudichaudianum* na população amostral da zona poluída em relação à zona de controle. A massa fresca, massa seca, os teores de clorofila a, b e clorofila total foram menores nas folhas das zonas poluídas em relação àquelas da zona controle. Já em relação a mediana da excreção urinária de sílica, não se identificou diferença significativa entre as pessoas moradoras da área poluída ou controle. Embora houve uma associação entre moradores da zona poluída apresentarem menor chance de um valor de sílica na urina acima da mediana da amostra ($\geq 3,91\text{mg/g}$). Tal associação não foi significativa após ajuste por idade. Apesar da sílica afetar negativamente o desenvolvimento foliar da espécie monitora, tais achados não foram associados a uma maior presença de sílica urinária das pessoas residentes na área de maior contaminação ambiental. Fatores de contaminação amostral e dietético podem ter influenciado tais achados na amostra humana estudada, reforçando a importância da análise da flora.

Palavras chaves: biomonitoramento ambiental, urina humana, poeira de sílica, nefropatia.

Effect of atmospheric silica by mining activity on plant and human kidney health

ABSTRACT

The objective of this study was to demonstrate the morphological and physiological injuries caused by silica air pollution in plants (reduced chlorophyll content, increased leaf thickness and leaf area) and correlate with the presence of elevated levels of silica in the urine of humans exposed to silica dust in the same region. This is a cross-sectional, observational, analytical study that analyzed 150 leaves of plants of the species *Piper gaudichaudianum* from two sampling points (polluted and control) and 51 urine samples from people potentially exposed or not exposed to silica dust from the same areas (26 residents in polluted area and 25 residents in control area) in the period from November 2021 to December 2022. Plant functional attributes (fresh mass, dry mass, leaf area and thickness, and chlorophyll a, b and total chlorophyll content) were analyzed using ICP-OES and SEM for analysis of particulate material in the leaf. For analysis of silica in urine, it was verified by the ratio of silica dosage in plain urine sample by ICP-OES and urinary creatinine by colorimetric method. A higher concentration of particulate matter on the leaf surface of *P. gaudichaudianum* was found in the sample population of the polluted zone compared to the control zone, mainly Iron and Silica. The fresh mass, dry mass, chlorophyll a, b and total chlorophyll levels were lower in the leaves of the polluted zones compared to those of the control zone. As for the median urinary excretion of silica, no significant difference was found between those living in the polluted and control areas. Although there was an association between residents of the polluted area being less likely to have a urine silica value above the sample median ($\geq 3.91\text{mg/g}$), this association was not significant after adjusting for

age. Thus, the deposition of particulate matter released into the atmosphere may negatively affect the morphological and physiological development of the monitor species in this study, with increased leaf thickness, reduced leaf area, and reduced chlorophyll a, b, and total chlorophyll contents. However, such findings were not associated with a higher presence of urinary silica from people residing in the area of higher contamination. Sample contamination and dietary factors may have influenced such findings in the human sample studied, reinforcing the importance of plant analysis.

Keywords: environmental biomonitoring, human urine, silica dust, nephropathy.

Introdução

O processo da industrialização, quando feito de forma sem considerar possíveis danos ambientais, pode ser responsável pela degradação de ecossistemas, o que reflete indiscriminadamente na saúde dos seres humanos (Cassiano, 2016). As atividades industriais e as inovações tecnológicas constituem elementos determinantes do dinamismo inovador na economia mundial. Todavia, tal crescimento industrial em algumas cidades pode implicar danos à saúde dos trabalhadores e comunidades adjacentes (Teixeira & Barberio, 2012; Santos *et al.*, 2019), reforçando a necessidade de métodos de monitorização para a devida prevenção de tais impactos.

Juntamente ao contínuo crescimento econômico e industrial das cidades, há o aumento da degradação ambiental pela poluição do ar atmosférico em decorrência da emissão de resíduos fabris, com consequente desequilíbrio aos sistemas naturais e a injúrias em diferentes organismos, como plantas, animais e seres humanos (Saldívar, 2018). Desta forma, além dos impactos na saúde, há implicações socioeconômicas e ambientais gerados neste processo de expansão econômica e industrial (Magalhães, 1994; Cassiano, 2016). Ademais, o crescimento populacional e o conforto gerado pelo progresso também contribuem amplamente para a geração de poluentes no ar, expondo cada vez mais os seres vivos à substâncias nocivas (Teixeira & Barberio, 2012; Santos *et al.*, 2019).

Sabe-se que a poluição gerada neste processo de crescimento socioeconômico e industrial causa graves impactos negativos nas plantas, como alterações funcionais e estruturais (Santos *et al.*, 2019). Além disso, a emissão de poluentes no meio ambiente culmina em aumento de doenças ocupacionais e crônicas, o que reflete na maior necessidade de tratamento e de internações hospitalares, onerando o sistema público de saúde (Bosson-Rieutort *et al.*, 2018).

Nesse contexto, localizada na região Sul do Brasil, a cidade de Joinville é o maior polo industrial do estado de Santa Catarina, cujo

parque industrial abriga cerca de 1.400 indústrias de pequeno, médio e grande porte, o que impulsiona o crescimento econômico e potencializa os problemas de ordem socioambiental na região. Com população de 604.708 habitantes, é a cidade mais populosa de Santa Catarina, a quarta da Região Sul e a 16.º do país, com densidade demográfica de 457,58 hab./km². Com o terceiro maior polo industrial do sul do Brasil, Joinville possui o maior Produto Interno Bruto (PIB) do Estado, sendo o 21.º município no *ranking* nacional (IBGE, 2016). O setor primário destaca-se pela produção de banana, palmito e arroz. O secundário, abriga complexos industriais (eletrometalmecânico, moveleiro, têxtil e de confecções), bens de capital e químico (plásticos e borrachas). O setor terciário concentra empresas de *software*. Com tal industrialização acelerada e precocemente, Joinville entra na lista de cidades com altos índices de poluição atmosférica e, consequentemente, impactos negativos na saúde dos seres vivos são esperados (SANTOS *et al.*, 2019).

No rol das atividades industriais de Joinville, tem-se a mineração como uma prática de grande potencial de contaminação do meio ambiente, promovendo a liberação de sílica na atmosfera. Estudos de monitoramento comprovam que tal poluição apresenta riscos significativos para a saúde e o meio ambiente, especialmente quando é liberada no ar como poeira fina (EPA, 1996). A exposição prolongada à poeira da sílica, proveniente de muitas indústrias mineradoras, pode proporcionar o desenvolvimento de diversas doenças pulmonares, dentre elas, silicose, silicotuberculose, doenças pulmonares autoimunes e câncer pulmonar (EPA, 1996; WHO, 2023). Outro local de acometimento pela poeira da sílica e pouco estudado são as patologias renais. A exposição a sílica pode desencadear alterações nefrológicas, como glomerulonefrites, insuficiência renal, câncer renal e nefrolitíase formada por cristais de sílica. Apesar de tais manifestações renais poderem ter um curso indolente e diagnosticadas tardiamente

(Saldanha *et al.*, 1975; Steenland, 1990; Lee *et al.*, 1993; SASAI *et al.*, 2022), King e Dolan (1934) encontraram a presença de sílica na urina de trabalhadores expostos em mineradora. Desta forma, a presença de sílica na urina poderia indicar indícios renais desta exposição (Ramadan *et al.*, 2021).

Considerando que mais de 99% da população vive em áreas onde a poluição do ar está acima das diretrizes de qualidade do ar da OMS (WHO, 2023) e que muitas destas doenças podem ter manifestações e diagnósticos tardios, há a necessidade de métodos para monitorar o impacto de tais poluentes na qualidade ambiental das cidades e saúde da população adjacente.

Uma vez que a emissão de sílica no meio ambiente pode interferir negativamente sobre a qualidade do ar e da água, no sistema vegetal, as injúrias provenientes da poeira da sílica podem acarretar alterações estruturais (clorose) e funcionais (fotossíntese), menor espessura do limbo e do mesófilo, menor desenvolvimento foliar (massa fresca e área foliar) e menor capacidade fotossintetizante (Cavallaro *et al.*, 2018). No entanto, há uma carência de estudos que correlacionam plantas e seres humanos de forma integrada no ambiente, considerando as populações vegetais como verdadeiros biomarcadores para danos na saúde humana (Melo JR. *et al.*, 2014).

Diante desse cenário, plantas expostas à poluição ambiental pela poeira da sílica, poderiam apresentar marcadores dessa poluição em seus organismos e se relacionar com achados renais de contaminação em uma população exposta a tal poeira. Considerando a facilidade de acesso e análise de tais plantas, poderiam ser um método viável, barato para monitorização de impacto a saúde humana, comparado a coleta de material biológico humano.

O presente estudo teve como objetivo avaliar as injúrias foliares provocadas pela poluição atmosférica por sílica em plantas da espécie *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) e correlacionar tais achados com a excreção de sílica na urina de seres humanos expostos à poeira da sílica, numa perspectiva integrada de

monitoramento da qualidade ambiental na cidade de Joinville, Santa Catarina. Tem-se como hipótese que a exposição à poeira de sílica é precursora de injúrias unidirecionais tanto em plantas como em seres humanos no que tange, respectivamente, à alterações foliares e à excreção de sílica na urina.

Material e métodos

Desenho do Estudo

Trata-se de um estudo transversal com análise de material vegetal e humano.

Localização e Caracterização da Área de Estudo

Dois pontos amostrais foram definidos no município de Joinville, localizado na porção nordeste do Estado de Santa Catarina (Figura 1).

Zona poluída emissora de poluentes (S 26°14'39'', O 48°55'34'') representada pela área geográfica do polo industrial de Joinville, referente à extração mineral. Nesta localização existe uma mineradora, localizada no Bairro Vila Nova de Joinville, e sua área perimetral, distante 1,2 km da área de mineração a céu aberto; altitude de 60 metros acima do nível do mar; sem obstáculos naturais entre a fonte poluidora e a zona poluída, localiza-se adjacente a uma rua com intenso tráfegos de caminhões procedentes da área de mineração.

Zona controle ou zona não poluída (S 26°13'38'', O 48°55'31'') representada pela área geográfica da Área de Preservação Ambiental (APA) Dona Francisca totalmente fora do alcance dos ventos incidentes na zona poluída ou que contenham fontes emissoras desse tipo de poluição no ar atmosférico, distante 3,5 km da área de mineração de rocha quartzosa a céu aberto; separado da área poluída por uma barreira natural, um morro, cuja função é impedir a transição da poeira da sílica da área poluída para a área controle, altitude de 75 metros acima do nível do mar; cercada por morros de 130 a 280 metros de altitude cobertos por mata nativa preservada de floresta ombrófila densa. Nessa região, vive uma pequena comunidade de moradores e com pouco tráfego de veículos.

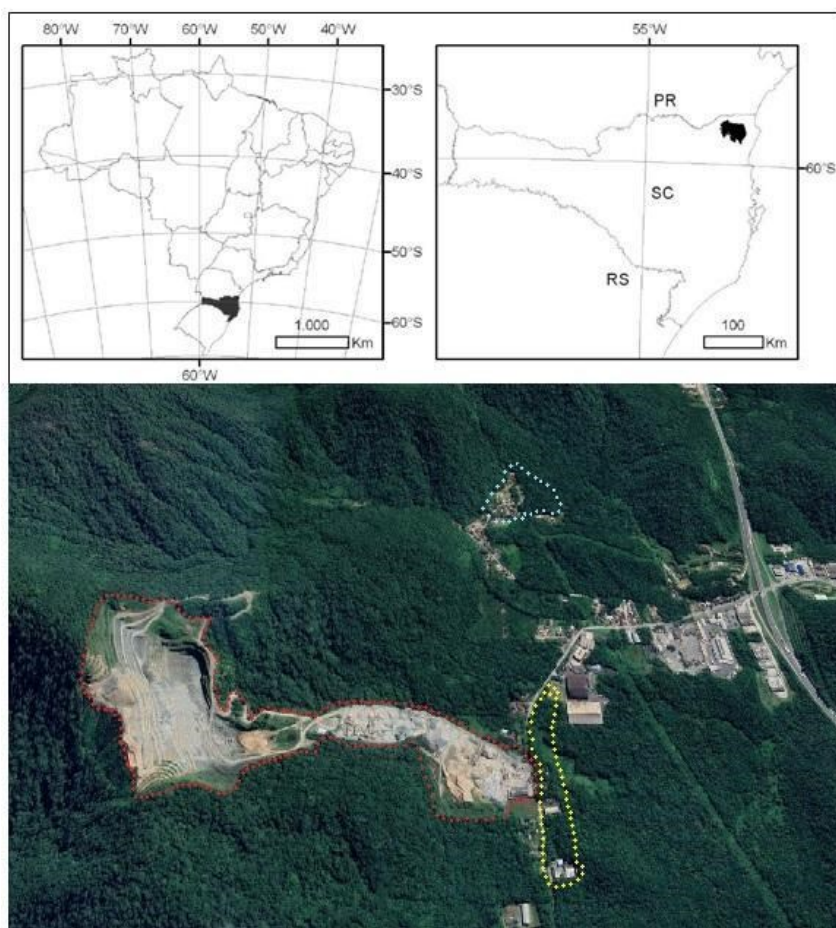


Figura 1. Localização dos pontos amostrais na cidade de Joinville, Santa Catarina, Brasil. Legenda: área de mineração (pontilhado vermelho); área poluída (pontilhado amarelo); área controle (pontilhado azul).

População amostral

1. Humanos e coleta de urina

Amostra inicial da pesquisa foi de 54 participantes, sendo 3 participantes excluídos devido à recusa à participação do estudo. Os 51 demais participantes foram incluídos no estudo de forma randômica por residirem em uma das regiões predefinidas do estudo: região poluída (26 participantes) e região controle (25 participantes). Incluiu-se adultos, maiores de 18 anos e menores de 60 anos, considerados saudáveis mediante um interrogatório sobre doenças e/ou comorbidades prévias. Cada participante forneceu uma amostra de urina da manhã que foi armazenada em recipiente refrigerado e encaminhado para análise laboratorial para análise do MP e creatinina urinária. A fim de corrigir fator dilucional da urina, a medida do MP foi dividida pela concentração de creatinina urinária na mesma amostra.

Análise do MP na urina

As amostras colhidas (área controle e poluída) foram submetidas ao processo de digestão química em laboratório. Foi fracionado 20 ml de urina, de cada amostra, em copo de Becker de capacidade para 50 ml. Na sequência, tampou-se o copo de Becker com vidro relógio em tamanho correspondente, regulado a chapa aquecedora para 4h a 100°C. Após, a solução foi avolumada para 25 ml com 3ml de HNO₃ (ácido nítrico) 50% v/v, 1ml de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) 50% e água Milli-Q, sob auxílio de micropipeta de vidro e capela de exaustão. Em seguida, foi realizada filtragem das amostras digeridas utilizando filtro quantitativo faixa preta e transferido para tubo Falcon, adicionando o padrão interno de Ítrio. Do total do filtrado, avolumou-se para 15 ml utilizando água Milli-Q. Por fim, foi possível realizar o processo de leitura das amostras em ICP-OES após calibração com solução aquosa, por meio do uso de padrões de concentrações determinadas para análise do

SiO₂ (dióxido de silício) (Roberts & Williams, 1990).

Análise da creatinina urinária

Realizada pelo método colorimétrico automatizado por meio do Sistemas Integrados VITROS 5600/XT 7600 (RESENDE *et al.*, 2009).

2. Material botânico e atributos selecionados

Utilizou-se como marcador ambiental a espécie nativa *Piper gaudichaudianum* Kunth. (Piperaceae). Em cada ponto amostral foram selecionados 5 indivíduos da espécie monitora totalizando 10 indivíduos amostrais em fase adulta de desenvolvimento, na mesma fase fenológica e na mesma estação do ano, padronizando a coleta para evitar o viés da sazonalidade sobre o desenvolvimento foliar. De cada indivíduo foram coletadas 30 folhas (N=150). A escolha dos atributos funcionais foi baseada em Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013), compreendendo: massa fresca (g), massa seca (g), área foliar (cm²), espessura foliar (mm) e teor de clorofila.

As folhas coletadas foram acondicionadas em recipientes plásticos. O conteúdo de água foi determinado pela diferença entre as massas fresca e seca. A quantificação de pigmento fotossintetizante foi realizada através da medição dos teores de clorofila a e b em 15 folíolos por indivíduo (N=150). Para esse fim, foram maceradas manualmente em cadinho cerâmico 0,5 gramas do terço médio do folíolo de cada indivíduo coletado, com acréscimo de 5 ml de acetona 80%. O conteúdo foi então transferido para tubos de ensaios revestidos com papel alumínio, para proteção contra a luz. As amostras foram centrifugadas e após diluídas com 0,5 ml do sobrenadante em 5 ml de acetona 80%, transferindo-se para as cubetas e realizada leitura dos teores de clorofila a e b em espectrofotômetro de massa.

Coleta e análise do MP botânico

Utilizou-se 15 folhas de cada indivíduo dos 2 pontos amostrais (N=150), coletadas no mesmo período das amostras de urina. A remoção do MP foi realizada por meio de limpeza mecânica da superfície foliar. A caracterização visual do MP sobre a lâmina foliar foi realizada por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV). A quantificação e

especiação do MP foi realizada por meio da Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP-OES).

Análise estatística

Parâmetros da *Piper gaudichaudianum*

Médias e respectivos desvios-padrão foram calculados para todos os atributos biológicos e variáveis ambientais quantitativas selecionadas. A comparação das médias foi realizada por meio de teste t, com $p \geq 0,05$. Análise de componentes principais (PCA) foi realizada para verificar qual atributo melhor explicava a variação no conjunto de dados. Os testes foram realizados em ambiente R.

Parâmetros Urinários

As variáveis categóricas são apresentadas pela frequência absoluta e percentagem. As variáveis numéricas por média e desvio padrão ou mediana e variação interquartil. Após verificação de distribuição não normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, as médias das variáveis quantitativas foram comparadas pelo teste U de Mann-Whitney estratificado pela exposição principal estudada, zona poluída versus zona não poluída. Já as variáveis categóricas foram comparadas pelo teste qui-quadrado ou teste exato de Fischer. Posteriormente, realizou-se análise univariada para verificação das variáveis associadas com valores de sílica/creatinina urinária acima da mediana da distribuição da amostra ($\geq 3,91$ mg/g), por regressão logística. Todas as variáveis com valor de p na univariada $< 0,100$ foram incluídas no modelo multivariado.

Aspectos éticos

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade da Região de Joinville, sob o parecer nº 4.593.757, em 16 de março de 2021, CAAE – 40834320.0.0000.5366. Os participantes que concordaram em participar do estudo assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) em obediência à resolução nº 466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde.

Resultados e discussão

Os principais resultados deste estudo evidenciaram que: uma maior concentração de material particulado sobre a superfície foliar de *P. gaudichaudianum* na população amostral da zona poluída em relação à zona de controle. Entretanto, o mesmo não se observou na excreção urinária de sílica/creatinina de pessoas moradoras da área poluída. Não houve associação de valores acima da mediana da amostra naqueles em que viviam em áreas poluídas demonstradas pelas alterações nas plantas.

Piper gaudichaudianum

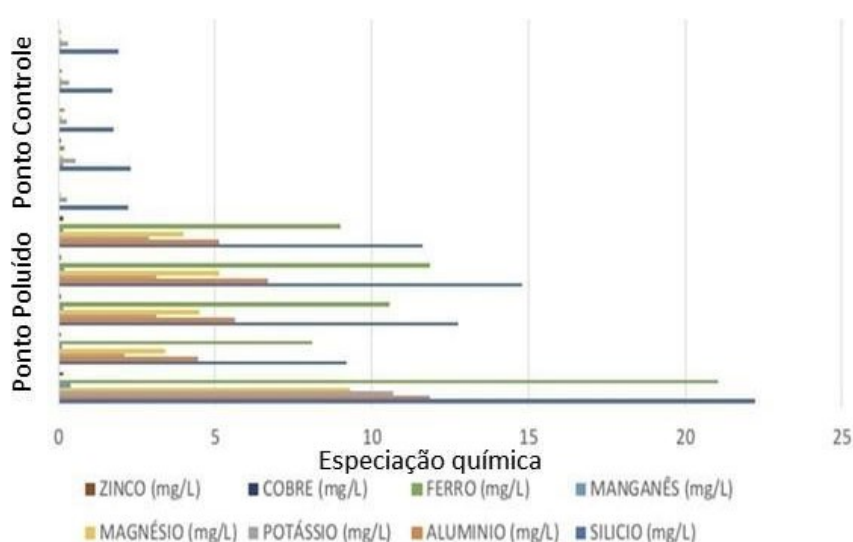


Figura 2. Espectração química obtida por espectrometria de massa do material particulado presente na superfície adaxial foliar de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) nas zonas poluída e controle (não poluída).

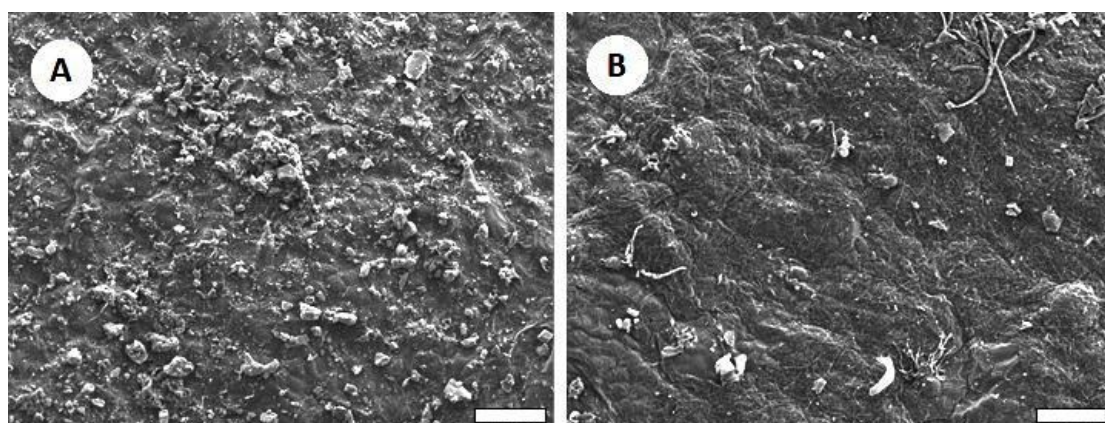


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura da superfície adaxial foliar de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae). Legenda: (A) Zona Poluída; (B) Zona Controle (não poluída). Barra de escala = 100μm

Tais achados são corroborados com o estudos de Klumppa *et al.* (2003) analisou as

concentrações totais de enxofre (S) no solo próximo ao complexo petroquímico de Camaçari

(BA), concluiu que havia concentrações drasticamente superiores de enxofre nas folhas de mangueira em áreas poluídas (aproximadamente o dobro) comparativamente aos locais de referência distante da fonte emissora. Heerdt & Melo Júnior (*no prelo*) também está de acordo com o estudo de Klumppa *et al* (2003), visto que constataram há uma maior concentração de MP e outros poluentes na planta da espécie *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae), em ponto situado nas imediações da fonte emissora. Além disso, os atributos foliares diferiram entre as populações de *P. guadichaudianum* localizadas nas áreas poluída e controle (Tabela 1.). A população da área poluída

apresentou menores valores de área foliar, massas frescas e seca e teores de clorofila, enquanto que a espessura foliar foi mais elevada quando comparada à área controle. A análise de componentes principais (PCA) mostrou, para os atributos da espécie de planta monitora, que os dois primeiros componentes explicaram juntos 74% da variância total dos dados. Os teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total foram mais relacionados ao eixo principal 1, que explicou 58% da variância. Já o eixo principal 2 explicou 15% da variância e esteve mais relacionado aos atributos de massa fresca e seca foliar.

Tabela 1. Médias, desvios-padrão e escores da análise de componentes principais dos atributos morfológicos e fisiológicos das populações de *Piper guadichaudianum* (Piperaceae) nas zonas poluída e controle (não poluída). Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 0,05.

Atributo	Zona Poluída	Zona Controle	PCA	
			Comp. 1	Comp. 2
Massa fresca (g)	0.50 ± (0,17) b	0.85 ± (0,30) a	0.39	0.41
Massa seca (g)	0.17 ± (0,06) b	0.22 ± (0,08) a	0.41	0.29
Área foliar (cm2)	20.24 ± (7,80) b	40.02 ± (13,77) a	0.44	0.39
Espessura foliar (cm)	0.11 ± (0,02) a	0.08 ± (0,03) b	0.38	0.54
Clorofila a (mgL-1)	3.94 ± (3,10) b	7.03 ± (4,51) a	0.36	0.49
Clorofila b (mgL-1)	2.16 ± (2,22) b	5.2 ± (2,97) a	0.36	0.20
Clorofila total (mgL-1)	6.10 ± (4,69) b	12.23 ± (6,70) a	0.25	0.00
Proporção de variância			0.5844	0.1568
Proporção cumulativa			0.5844	0.7413

Melo Júnior *et al* (2014) e Cavallaro *et al* (2018) da mesma forma que o presente estudo, afirmam que existe maior investimento na manutenção do órgão foliar nos pontos poluídos, além de uma maior reação fotossintética nos pontos controle. Por isso, os valores médios dos parâmetros morfológicos da área poluída se diferenciam em relação à área de controle em relação ao investimento feito pela planta, ou seja, a área foliar se apresentou ativamente menor na ZP em comparação à ZC, o que refletiu em uma menor massa fresca e seca, mesmo que a espessura das folhas da ZP fosse maiores. Essa diferença na área foliar entre as populações amostrais, pode ser justificada por uma menor taxa de produção fotossintética em virtude da deposição do material particulado, com consequente baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal. A redução fotossintética pode ser explicada pela obstrução dos estômatos e por conseguinte das trocas gasosas, o que leva a declínio nos valores médio de produção de clorofila entre as duas

áreas amostrais (poluída e controle), impedindo o desenvolvimento fisiológico da planta. Isso é enfatizado no estudo de Nanos e Ilias (2007) com oliveiras (*Olea europaea* – Oleaceae) próximas a uma fábrica de cimento na região de Volos (Grécia). Os autores concluíram que a exposição à poeira de cimento resultava em redução nos teores de clorofila a, b e total das folhas, bem como erosão na camada de ceras epicuticulares e obliteração dos estômatos, redução nas taxas de crescimento vegetativo e reprodutivo, perda de turgescência, clorose, necrose e senescência foliar.

Urina

No total, 51 participantes foram incluídos na pesquisa, destes 41,2% eram homens e 58,8% mulheres, com distribuição homogênea entre os grupos (p=0,46). A mediana da idade foi de 44 anos, com predomínio do sexo feminino (59%), com mediana do tempo de residência de 20 anos e 20% com presença de

Hipertensão Arterial Sistêmica. A mediana da relação sílica/creatinina Ur (mg/g) foi de 3,91 na amostra geral. Quando estratificada a amostra, em relação à zona não poluída e zona poluída,

não houve diferença estatística nas variáveis analisadas (Tabela 2), bem como em relação a mediana dos valores de sílica/creatinina na urina.

Tabela 2. Características gerais da amostra total e estratificada pelo *status* da zona em que residem (n=51). DP: desvio padrão; VIQ: variação interquartil (percentil 25/percentil 75); IMC: índice massa corporal; Ur: urinária; HAS: hipertensão arterial sistêmica.

	Amostra Total n=51		Zona Não Poluída n= 25 (49%)		Zona Poluída n=26 (51%)		Valor p
Idade , anos; mediana/VIQ	44	34/60	48	39/59	41,5	28/60	0,250
Sexo							0,461
Homens	21	41,2	9	36,0	12	46,1	
Mulheres	30	58,8	16	64,0	14	53,8	
IMC , Kg/m ² ; média/DP	28,57	5,78	28,12	5,96	29,00	5,68	0,457
Tempo residência , anos; mediana/VIQ	20	9/40	16	8/23	31,5	12/48	0,069
Tabagismo							0,692
Nunca	34	66,7	16	64,0	18	69,2	
Atual/Ex	17	33,3	9	36,0	8	30,8	
Diabetes , sim	5	9,8	2	8,0	3	11,5	0,519
HAS , sim	10	19,6	3	12,0	7	26,9	0,162
Sílica Ur , mg/l; mediana/VIQ	4,36	2,83/6,16					0,559
Creatinina Ur , mg/l; mediana/VIQ	1,28	0,62/1,89	1,28	0,57/1,90	1,30	0,65/1,70	0,578
Relação Sílica/Creatinina Ur , mg/g; mediana/VIQ	3,91	3,13/5,87	4,24	3,53/5,87	3,63	2,39/5,87	0,279

Ao se analisar as variáveis associadas (Tabela 3.) por meio da análise univariada, o aumento da idade foi associado à maior chance de ter valores de relação sílica/creatinina na urina acima da mediana. Já morar em zona poluída foi associado a menor chance de ter valores de

relação sílica/creatinina na urina acima da mediana da amostra. Após ajuste para idade, o local de residência não foi mais associado com valores de relação sílica/creatinina na urina acima da mediana.

Tabela 3. Variáveis associadas com valores de sílica/creatinina urinária acima da mediana da distribuição da amostra ($\geq 3,91$ mg/g), por Regressão Logística (n=51).

	Análise Univariada			Análise Multivariada		
	OR	CI 95%	Valor p	OR	CI 95%	Valor p
Idade , por unidade de aumento	1,06	1,02-1,13	0,005	1,06	1,01-1,11	0,009
Sexo , homens vs. mulheres	0,69	0,23-2,13	0,525			
IMC , por unidade de aumento	0,99	0,90-1,09	0,886			
HAS , sim vs. não	0,86	0,22-3,44	0,835			
Tabagismo , atual/ex vs. nunca	1,00	0,31-3,21	1,000			
Tempo residência , por unidade de aumento	1,01	0,98-1,04	0,480			
Zona Poluída , sim vs. não	0,29	0,09-0,93	0,038	0,32	0,09-1,13	0,078

OR: odds ratio; CI: intervalo de confiança; IMC: índice massa corporal; HAS: hipertensão arterial sistêmica.

Ao contrário do observado no presente estudo, Li *et al* (2015) analisou a biodistribuição in vivo e a excreção das partículas de sílica na urina e fezes de camundongos, concluiu que que

os produtos de degradação da sílica no organismo podem ser absorvidos pela mucosa intestinal, circulação sistêmica e atingir a excreção via renal, visto a excreção de sílica na

urina ser maior em camundongos com maior ingestão via oral de sílica. Em outro estudo com coelhos e trabalhadores de minas de carvão, King e Dolan (1934) demonstrou que existe relação de tempo de exposição à poeira da sílica diretamente proporcional aos valores presentes na urina. Além disso, foi possível concluir que

existe um forte fator da dieta consumida no dia anterior (por exemplo os vegetais e verduras), o que interfere na excreção renal da sílica, visto que os coelhos que ingeriram alimentos em que o constituinte era sílica, excretavam mais sílica a urina que os demais.

Conclusões

A presença de injúrias foliares provocadas por sílica em espécimes de *Piper gaudichaudianum* entre zona poluída e zona controle em Joinville reforça o impacto ambiental da poluição atmosférica por atividade mineradora. No entanto, tais achados não foram associados a uma maior presença de sílica urinária de residentes na zona poluída. A deposição de MP na superfície foliar da espécie *Piper gaudichaudianum* na área poluída, implica em alterações morfológicas e fisiológicas. Em contrapartida, as plantas da área controle apresentaram suas características morfológicas e fisiológicas íntegras de agressões externas, e serviram como um parâmetro da qualidade ambiental na área em que residem as pessoas. Embora a urina seja um marcador da presença humana de exposição à sílica e de fácil acesso para coleta, tal método pode sofrer interferências pela dieta e rápida exposição dos participantes à áreas contaminadas. Como não se trata de um marcador de lesão tecidual, mas apenas reflete a concentração sanguínea do MP filtrado a nível glomerular, tal método pode ser limitado para uso habitual para monitorar a exposição ao MP em pessoas. Tal achado reforça a importância da planta como um marcador de contaminação ambiental, confiável e sem as mesmas limitações encontradas na urina como marcador humano.

Assim, os resultados desse estudo, relacionando plantas com material biológico humano, têm relevância tanto na conscientização ambiental como em questões de saúde pública, com potencial implementação de políticas públicas para prevenir doenças em seres vivos relacionadas à exposição excessiva e intensa do material particulado da sílica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Fundo de Amparo à Pesquisa da Univille pelo aporte

financeiro. Aos moradores das áreas de estudo por contribuírem com a pesquisa.

Referências

- Abensur, H. 2011. Biomarcadores Na Nefrologia. Sociedade Brasileira De Nefrologia [E-Book]. Roche.
- Álvarez, R. F., González, C. M., Martínez, A. Q. *et al.* 2015. Normativa Para El Diagnóstico Y Seguimiento De La Silicosis. Archivos De Bronconeumología, V. 51, N. 2, P. 86-93. [http:// dx.doi. org// 10.1016/j.arbres.2014.07.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2014.07.010).
- Arrivabene, H. P., Souza, I. C., Có, W. L. O. *et al.* 2015. Effect Of Pollution By Particulate Iron On The Morphoanatomy, Histochemistry, And Bioaccumulation Of Three Mangrove Plant Species In Brazil. Chemosphere, Oxford, V. 127, P. 27-34. [http:// dx.doi. org//10.1016/j.chemosphere.2015.01.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.011).
- Bercow, G.M., Vo, H., Rieders, F. 1994. Silicon Analysis In Biological Specimens By Direct Current Plasma-Atomic Emission Spectroscopy. Journal Of Analytical Toxicology, Vol. 18. [http:// dx.doi. org/10.1093/jat/18.1.46](http://dx.doi.org/10.1093/jat/18.1.46).
- Bloomfield, J.J., Sayers, R.R., Goldman, F.H. The Urinary Excretion Of Silica By Persons Exposed To Silica Dust. Association Of Schools Of Public Health. Vol. 50, No. 13, Pp. 421-424. [http:// dx.doi. org//1935. 10.2307/4581502](http://dx.doi.org/10.2307/4581502).
- Brauer, M., Hoek, G., Vliet, P. V. *et al.* 2002. Air Pollution From Traffic And The Development Of Respiratory Infections And Asthmatic And Allergic Symptoms In Children. Am. J. Resp. Critical Care Med, New York, V. 166, N. 8, P. 1092-1098, [http:// dx.doi. org//10.1164/rccm.200108-007OC](http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200108-007OC).
- Brito, Phf. Araújo, Rs. Silva, Smm. 2018. Composição Química Do Material Particulado Atmosférico: Uma Revisão De Literatura. Holos, Ano 34. Vol 03. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.4648>.

- Calistri, P., Iannetti, S., Danzetta, M. L. *et al.* 201. The Components Of 'one World - One Health' Approach. *Transboundary And Emerging Diseases*, Weinheim, V. 60, Suppl 2, P. 4-13, 2013. <https://doi.org/10.1111/tbed.12145>.
- Cantas, L., Suer, K. 2014. Review: The Important Bacterial Zoonoses In "One Health" Concept. *Front Public Health*, V. 2, N. 144, P.1-8. <https://dx.doi.org/10.1166/jnn.2020.18999>.
- Carneiro, R. M. A. 2004. Bioindicadores Vegetais De Poluição Atmosférica: Uma Contribuição Para A Saúde Da Comunidade. Dissertação (mestrado). Escola De Enfermagem De Ribeirão Preto, Universidade De São Paulo, Ribeirão Preto.
- Cassiano, C. J. M. 2016. Educação Ambiental: Caminhos, Desafios E Previsões. In: *Anais Da Conferência Internacional - Saberes Para Uma Cidadania Planetária*. Fortaleza.
- Cavallaro, R., Melo Junior, J. C. F., Chaves, M. B. *et al.* 2019. Avaliação Do Efeito Da Poluição Atmosférica Em Populações Urbanas De Ingá Edulis Mart. (Fabaceae) Por Meio Do Método De Biomonitoramento Passivo. *Connection Line*, Várzea Grande, N. 20. <http://dx.doi.org/10.18312/connectionline.v0i20.1246>.
- Cetesb. 2006. Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental. Avaliação Dos Teores De Partículas Inaláveis No Município De Panorama. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>
- Conceição, G. W. N. Da ., Silva , R. A. Da ., Freret, R. Do A. C. , Lobo, A. De J. 2023. Reflexão Sobre O Conceito "One Health" E Compreensão Do Seu Papel Perante À Saúde Preventiva: Revisão Integrativa. *Research, Society And Development*, 12,, E9312340514.
- Ghahramani, N. 2010. Silica Nephropathy. *Int J Occup Environ Med*, 1, 108-115.
- Gonzaga, L. M. A. 2016. Sucessão Ecológica Em Ambientes Florestais Em Restauração: Estrutura E Dinâmica Da Regeneração Natural. 102 Fl. Dissertação (mestrado). Universidade Federal De Lavras. Pós-Graduação Em Engenharia Florestal. Lavras. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11240>.
- Guimarães, E.F., Carvalho-Silva, M.,Monteiro, D.; Medeiros, E.S., Queiroz, G.A. 2015. Piperaceae In Lista De Espécies Da Flora Do Brasil. Jardim Botânico Do Rio De Janeiro. <http://Floradobrasil2015.Jbrj.Gov.Br/Fb12780>.
- Hendry, G.A.F., Price, A.H. 1993. Stress Indicators: Chlorophylls and Carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. *Methods In Comparative Plant Ecology*. London: Chapman & Hall; p. 148-152. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-1494-3>.
- Heerdt, S.T. & Melo Jr. J.C.F. 2019. Avaliação Do Efeito Da Poluição Atmosférica Em Populações Urbanas De Handroanthus Chrysotrichus (Mart. Ex Dc.) Mattos (Bignoniaceae) Em Joinville, SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.18312/1980-7341.n20.2019.1246>.
- Ippuj - Instituto De Pesquisa E Planejamento Para O Desenvolvimento Sustentável De Joinville. 2021. Joinville: Cidade Em Dados. Joinville: Ippuj. <Http://Www.Joinville.Sc.Gov.Br/Wp-Content/Uploads/2021/12/Joinville-Cidade-Em-Dados-2021---Ambiente-Construído.Pdf>>.
- King, E.J., Dolan, M. (1934). Silicosis And The Metabolismo Of Sílica. *The Canaclian Medical Association Journal*, 31, 21-26. <http://dx.doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC403435/pdf/canmedaj00145-0036.pdf>.
- Klumpp, A., Hintemann, T., Lima, J. S., Kandeler, E. 2003. Bioindication Of Air Pollution Effects Near A Copper Smelter In Brazilusing Mango Trees And Soil Microbiological Properties. *Environmental Pollution* 126. P. 313-321, Bahia. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00244-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00244-6).
- Klumpp, A., Ansel, W., Klumpp, G., Fomin, A. 2001. Um Novo Conceito De Monitoramento E Comunicação Ambiental: A Rede Européia Para A Avaliação Da Qualidade Do Ar Usando Plantas Bioindicadoras (Eurobionet). *Rev. Bras. Bot.*, N. 4. p. 511-518. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000500005>.
- Lee, M. H., Lee, Y. H., Hsu, T. H. *et al.* 1993. Silica Stone Development Due To Long Time Oral Trisilicate Intake. *Scandinavian Journal Of Urology And Nephrology*, V. 27, N. 2, P. 267-269.

<https://doi.org/10.3109/00365599309181263>

- Lerner, H., Berg, C. 2015. The Concept Of Health In One Health And Some Practical Implications For Research And Education: What Is One Health?. *Infection Ecology & Epidemiology*, V. 5, N. 1, P. 25300. <https://doi.org/10.3402/iee.v5.25300>.
- Lima, W. P. 1980. As Florestas E A Poluição Do Ar. Instituto De Pesquisa E Estudos Florestais. Piracicaba-Usp, Piracicaba, 1-41. <http://bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/6944>.
- Li, L, Liu, T, Fu, C, Tan, L, Meng, X, Liu, H. 2015. Biodistribution, Excretion, And Toxicity Of Mesoporous Silica Nanoparticles After Oral Administration Depend On Their Shape. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, And Medicine*. 11, Issue 8, Pag 1915-1924. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.07.004>
- Magalhães, L. E. 1994. A Questão Ambiental. São Paulo, Terragraph, P. 345.
- Martins, L.C., Latorre, M.R.D.O., Saldiva, P.P.H.N., Braga, A.L.F.2001. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. *Rev. Bras. Epidemiol.* Vol. 4, Nº 3. <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/mDMgQQ8FyCwWFJh3H5YQrvq/?format=pdf&lang=pt>.
- Melo Júnior, J.C.F., Raimundo, C.M., Amorim, M.W. 2014. Efeito Da Poluição Atmosférica Em Folhas De *Tibouchinagranulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). *Acta Biológica Catarinense*. 1(1):65-72. <https://doi.org/10.21726/abc.v1i1.603>.
- Melo, R.S.S., Zago, M.F.F. 2012. Os Sentidos Da Silicose Atribuídos Por Trabalhadores De Pedreiras Adoecidos. *Texto Contexto Enferm, Florianópolis*. 21(4): 845-53. <https://doi.org/10.1590/S0104-07072012000400015>.
- Melo, A, Guimarães, E.F., Alves, M. 2014. Piperaceae Do Parque Nacional Do Viruá, Caracarái, Roraima, Brasil. *Rodriguésia* 65(2): 455-470. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000200010>.
- Nanos, G.D., Illias, I.F.2007. Effects Of Inert Dust On Olive (*Olea Europaea* L.) Leaf Physiological Parameters. *Environmental Science And Pollution Research*, Vol. 14, 212-214. <https://doi.org/10.1065/espr2006.08.327>.
- Parks, C. G., Conrad, K., Cooper, G. S. 1999. Occupational Exposure To Crystalline Silica And Autoimmune Disease. *Environ Health Perspect*, V. 107, P. 793-802, <https://doi.org/10.1289/ehp.99107s5793>.
- Peters, C. E., Bogaert, L., Latifovic, L. *et al.* 2019. Canadian Cancer Registries Epidemiology Group. *Occup. Environ. Med*, V. 76, N. 9, P. 668-671. <https://doi.org/10.17269/s41997-018-0095-9>.
- Ramadan, M.A., Abdelgwad, M., Fouad, M.M. 2021. Predictive value of novel biomarkers for chronic kidney disease among workers occupationally exposed to silica. *Toxicology and Industrial Health*. 37(4):173-181. <https://doi.org/10.1177/0748233721990304>
- Rabinowitz, P. M., Kock, R., Kachani, M. *et al.* 2013. Toward Proof Of Concept Of A One Health Approach To Disease Prediction And Control. *Emerg Infect Dis*, V. 19, N. 12, E130265. <http://dx.doi.org/10.3201/eid1912.130265>.
- Rees, D., Murray, J. 2007. Silica, Silicosis And Tuberculosis. *Int J Tuberc Lung Dis*, Paris, V. 11, N. 5, 474-84. PMID: 17439668.
- Reflora. Plantas Do Brasil: Resgate Histórico E Herbário Virtual Para O Conhecimento E Conservação Da Flora Brasileira. Jardim Botânico Do Rio De Janeiro. Disponível: <http://Reflora.Jbrj.Gov.Br/Reflora/Principaluc/Principaluc/>
- Roberts, N.B., Williams, P. 1990. Silicon Measurement In Serum And Urine By Direct Current Plasma Emission Spectrometry. *Clinical Chemistry*, 36(8 Pt 1):1460-5. PMID: 2387042.
- Reis, A. F. 2014. Análise Da Dispersão De Poluentes De Origem Veicular Na Br-153 E Sua Relação Com O Uso Do Solo Em Área Urbana Do Município De Goiânia. Dissertação (mestrado). Universidade Federal De Goiás. Goiânia.
- Saldanha, L. F., Rosen, V. J., Gonick, H. C. 1975. Silicon Nephropathy. *Am J Med, Philadelphia*, V. 59, P. 95-103. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(75\)90326-5](https://doi.org/10.1016/0002-9343(75)90326-5).
- Santos, G. S., Santos, M.D., Melo Junior, J. C. F. *et al.* 2019. Avaliação Do Potencial Bioindicador De *Alchornea Glandulosa* No

- Monitoramento Da Poluição Atmosférica. Acta Biológica Catarinense, Joinville, V. 6, N. 1, P. 93. <https://doi.org/10.21726/abc.v6i1.212>.
- Sasai F., Rogers K.L., Orlicky D.J. *et al.* (2022). Inhaled silica nanoparticles cause chronic kidney disease in rats. Am J Physiol Renal Physiol. 323(1):F48-F58. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00021.2022>
- Stratta, P, Canavese, C, Messuerotti, A, fenoglio, I; Fubini, B. 2001. Silica And Renal Diseases: No Longer A Problem In The 21st Century?. J Nephrol, 14(4):228-47. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11506245/>. PMID: 11506245.
- Teixeira, M. C. V., Barbério, A. 2012. Biomonitoramento Do Ar Com Tradescantia Pallida (Rose) D. R. Hunt Var. Purpurea Boom (Commelinaceae). Ambiente E Água, V. 7, N. 3, P. 279-292. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.982>. Acesso: 03 fev. 2023.
- Vormittag, E. M., Cirqueira, S. S. R., Wicher, H.N., Saldiva, P.H.N. 2021. Análise Do Monitoramento Da Qualidade Do Ar No Brasil. Estudos Avançados, V.35, N.102, P.7-30, São Paulo.
- Who - World Health Organization. Crystalline Silica. Disponível: https://www.who.int/ipcs/emergencies/silica_quartz/en/.
- Yuncker, T.G. 1972. The Piperaceae Of Brazil. Piper, Group I, Ii, Iii, Iv. Hoehnea 2: 19-366. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062008000400007>.