



ISABELA MARTINEZ FONTES CUNHA

**EFEITO DA POEIRA DE CIMENTO NA ANATOMIA FOLIAR
E TROCAS GASOSAS DE *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.)
(Anacardiaceae) E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong
(Fabaceae)**

**EFFECT OF CEMENT DUST IN FOLIAR ANATOMY AND
GAS EXCHANGES OF *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.)
(Anacardiaceae) and *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)
Morong (Fabaceae)**

LAVRAS – MG

2019

ISABELA MARTINEZ FONTES CUNHA

**EFEITO DA POEIRA DE CIMENTO NA ANATOMIA FOLIAR E TROCAS
GASOSAS DE *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.) (Anacardiaceae) E *Enterolobium
contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae)**

**EFFECT OF CEMENT DUST IN FOLIAR ANATOMY AND GAS EXCHANGES
OF *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.) (Anacardiaceae) and *Enterolobium
contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Lavras, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Botânica
Aplicada, para a obtenção do
título de Mestre.

Profa. Dra. Marinês Ferreira Pires Lira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Cunha, Isabela Martinez Fontes.

Efeito da poeira de cimento na anatomia foliar e trocas gasosas de *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.)(Anacardiaceae) e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) / Isabela Martinez Fontes Cunha. - 2019.

48 p.: il.

Orientador(a): Marinês Ferreira Pires Lira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Poluição ambiental. 2. Estrutura foliar. 3. Reflorestamento. I. Lira, Marinês Ferreira Pires. II. Título.

ISABELA MARTINEZ FONTES CUNHA

**EFEITO DA POEIRA DE CIMENTO NA ANATOMIA FOLIAR E TROCAS
GASOSAS DE *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.) (Anacardiaceae) E *Enterolobium
contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae)**

**EFFECT OF CEMENT DUST IN FOLIAR ANATOMY AND GAS EXCHANGES
OF *Myracrodruon urundeuva* (Fr. All.) (Anacardiaceae) and *Enterolobium
contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Lavras, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Botânica
Aplicada, para a obtenção do
título de Mestre.

APROVADA em 21 de Fevereiro de 2019.

Dra. Alessandra de Oliveira Ribeiro - UFLA

Dra. Ane Marcela das Chagas Mendonça - UFLA

Profa. Dra. Marinês Ferreira Pires Lira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2019**

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meu caminho e permitir mais uma conquista.

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre estiveram do meu lado, me apoiando e amparando em todos os momentos da minha vida e que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. Amo vocês!

Aos meus avós que sempre torceram pela minha formação, me abençoando e me colocando em suas orações.

Ao Evandro, pelo apoio, paciência e compreensão e por sempre estar ao meu lado, compartilhando minhas conquistas.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Biologia pela estrutura e oportunidade de realizar a pós-graduação.

A todo corpo docente do Programa de Botânica Aplicada, pela contribuição para a minha formação.

À Professora Dra. Marinês Ferreira Pires Lira, por me acolher e me proporcionar imenso crescimento, pelo apoio em todas as minhas decisões e pelo incentivo para que eu concluísse o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso e também ao grupo Bolsistas CAPES que me amparou quando eu mais precisei.

A todos do Laboratório de Anatomia Vegetal, e à Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Botânica Aplicada, pela oportunidade.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta etapa.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Após a revolução industrial, a preocupação com o meio ambiente se tornou ainda mais escassa, não havendo planos ambientais concretos que pensassem no futuro. As indústrias cimenteiras se destacam como as maiores fontes de emissão de poluentes de material particulado, sendo o Brasil um dos principais produtores desta matéria prima. As espécies nativas que não apresentam plasticidade a estes ambientes que possuem grandes emissões de poluição por poeira de cimento enfrentam um grande risco de extinção devido tanto à exploração quanto a poluição industrial. Estas espécies sofrem grandes perdas na taxa fotossintética, na nutrição mineral e na biomassa, além de danos anatômicos. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar os impactos da deposição da poeira de cimento na estrutura anatômica e em processos fisiológicos das folhas das espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Enterolobium contortisiliquum* visando avaliar possível tolerância a poluição por poeira de cimento. O material vegetal foi coletado levando em consideração a distância das áreas de interesse em relação a uma fábrica de cimento, sendo analisadas três áreas (Área 1- 2 km, Área 2 – 2,7 km e Área 3 – 3,4 km) para cada espécie. As análises anatômicas foram baseadas em secções paradérmicas e transversais das folhas em microscopia de luz. Também foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura da superfície foliar, análises de trocas gasosas e teor de clorofila. Foram analisadas, ainda, área foliar específica, além de análises nutricionais da folha e do solo em cada uma das áreas sob a influência da poeira de cimento. As informações microclimáticas foram fornecidas por uma estação meteorológica próxima ao local de estudo. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de média. A espécie *Enterolobium contortisiliquum* apresentou menor espessura na epiderme adaxial e cutícula, além de menor densidade estomática na área 1, já a concentração de carbono intercelular e a concentração de clorofila foram menor na área 3. Enquanto *Myracrodruon urundeuva* obteve uma maior espessura na epiderme adaxial, abaxial e cutícula na área 3, a taxa fotossintética e a condutância estomática foram maiores na área 1 e a transpiração maior na área 3. A exposição à poeira de cimento não provocou alterações na composição mineral das folhas de ambas as espécies. As características nutricionais do solo não variaram nas três áreas de estudo. Ambas as espécies apresentam indícios de tolerância à poluição por poeira de cimento, com algumas modificações estruturais e fisiológicas nas folhas das diferentes áreas estudadas. Diante disso, as espécies nativas *Myracrodruon urundeuva* e *Enterolobium contortisiliquum* podem ser indicadas para serem utilizadas no reflorestamento ambiental em áreas que sofrem impactos pela indústria cimenteira.

Palavras-chave: Poluição ambiental, estrutura foliar; Reflorestamento; Fotossíntese.

ABSTRACT

After the installation and rapid growth of industries, concern for the environment became scarce, and there were no concrete environmental plans for the future. The cement industries stand out as the major sources of emission of particulate pollutants, Brazil being one of the main producers of this raw material. The native species that do not have plasticity to these environments that have large emissions of pollution by cement dust face a great risk of extinction due to both the exploitation and the industrial pollution. These species suffer great losses in the photosynthetic rate, mineral nutrition and biomass, in addition to anatomical damages. In this way, the present work aimed to evaluate the impact of cement dust deposition on the anatomical structure and physiological processes of the leaves of the species *Myracrodruon urundeuva* and *Enterolobium contortisiliquum* in order to evaluate the possible tolerance to cement dust pollution. The plant material was collected taking into account the distance of the areas of interest in relation to a cement factory, where three areas for each species were analyzed. The anatomical analyzes were based on the paradermico and cross sections of the leaves under light microscopy. Scanning electron microscopy analyzes of leaf surface and analysis of gas exchange and chlorophyll content were also carried out. The specific leaf area was analyzed as well as leaf and soil nutrient analyzes in each of the areas under the influence of cement dust. The microclimatic information was provided by a weather station near the study site. Data were submitted to analysis of variance and the mean test. The *Enterolobium contortisiliquum* species had a lower thickness in the adaxial epidermis and cuticle, as well as a lower stomatal density in area 1, whereas intercellular carbon concentration and chlorophyll concentration were lower in area 3. While *Myracrodruon urundeuva* obtained a greater thickness in the adaxial epidermis, abaxial and cuticle in area 3, the photosynthetic rate and stomatal conductance were higher in area 1 and the greater sweating in area 3. Exposure to cement dust did not cause changes in the mineral composition of the leaves of both species. The nutritional characteristics of the soil did not vary in the three study areas. Both species show signs of tolerance to cement dust pollution, with some structural and physiological modifications in the leaves of the different areas studied. Due to this, the native species *Myracrodruon urundeuva* and *Enterolobium contortisiliquum* can be indicated for use in environmental reforestation in areas that are impacted by the cement industry.

Keywords: Environmental pollution, Leaf structure; Reforestation; Photosynthesis.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	9
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	A indústria cimenteira e os impactos ambientais	10
2.3	Recuperação de áreas degradadas por mineradoras.....	11
2.4	Efeito da poeira de cimento na morfologia e fisiologia das plantas	12
2.5	Família Anacardiaceae	14
2.6	Descrição de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	15
2.7	Família Fabaceae	16
2.8	Descrição de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong.	16
3	REFERÊNCIAS.....	18
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....	23
	ARTIGO 1 - Efeito da deposição de poeira de cimento em folhas de <i>Myracrodruon urundeuva</i> (fr. All.) (Anacardiaceae) e <i>Enterolobium</i> <i>contortisiliquum</i> (vell.) Morong (Fabaceae).....	23

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

As indústrias cimenteiras vêm se destacando cada vez mais no mercado, se instalando em cidades do interior que apresentam um grande potencial econômico. O material particulado emitido por estas indústrias possui natureza alcalina e é constituído por metais pesados, além de apresentar o cálcio como seu principal componente. Este tipo de atividade pode afetar os vegetais de diferentes formas, desde o desmatamento com a instalação das indústrias até danos estruturais e fisiológicos, por conta dos agentes poluidores, afetando o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a condutância estomática e a taxa fotossintética e respiratória.

Além disso, cerca de 4,8 milhões de hectares de vegetação (80% das florestas no Brasil) são de espécies exóticas, as quais são utilizadas para a produção de celulose, visando apenas o fator comercial e econômico destas espécies. Porém, com o crescente aumento da industrialização em nosso país, como as indústrias cimenteiras, as espécies nativas vêm sofrendo grandes impactos, favorecendo ainda mais a entrada de espécies exóticas em nosso ecossistema.

As espécies que não conseguem sobreviver sob poluentes provenientes de indústrias cimenteiras, podem sofrer muitas consequências. Mas há espécies que não sofrem alterações significativas e, portanto, conseguem sobreviver em áreas que recebem este tipo de poluentes, podendo ser utilizadas em reflorestamentos ambientais em áreas que são afetadas por estes impactos.

Myracrodruon urundeuva Fr. All. (Anacardiaceae) e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) são espécies nativas da América do Sul que apresentam um grande potencial econômico, desde a utilização em produtos medicinais, como o tratamento de processos ulcerativos, dolorosos e inflamatórios, até a construção de móveis de madeira, brinquedos e produção de celulose.

Diante disso, e da escassez de estudos com espécies nativas em ambiente natural no país, tem-se a necessidade de analisar as respostas anatômicas e fisiológicas que estas espécies podem apresentar quando em contato com a poluição por poeira de cimento em ambiente natural, a fim de verificar sua tolerância. Espécies tolerantes podem ser indicadas para o reflorestamento em ambientes que sofrem este tipo de degradação ambiental, tendo como principal objetivo, manter o equilíbrio do ecossistema da região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A indústria cimenteira e os impactos ambientais

A contaminação do meio ambiente natural teve seu início com a revolução industrial no século XIX, e a partir desta época, houve um grande crescimento da exploração dos recursos naturais, levando a grandes catástrofes ambientais (DIAS, 2006). As indústrias cimenteiras são as principais poluentes de material particulado (GRANTZ et al., 2003; DEMIR et al., 2005; IŞIKLI et al., 2006; RODRIGUES; JOEKES, 2011), podendo afetar de forma negativa todo o ecossistema presente (DEMIR et al., 2005; IŞIKLI et al., 2006).

Nas etapas de fabricação do cimento, é gerada uma grande quantidade de material particulado em quase todos os processos, sendo na operação de moagem de cimento ao final do processo de fabricação, responsável por 63%, a fabricação de clínqueres por meio da moagem de calcário e silicatos são responsáveis por 21%, o transporte de caminhões 8% e as demais atividades 8% de acordo com Abdul-Wahab (2006).

A poeira de cimento pode conter em sua composição metais pesados e compostos químicos, como, Cu, Mn, Fe, Cr, Zn, Hg, Cd e Pb, entre outros, cujas concentrações variam entre as indústrias (OGUNBILEJE et al., 2013) em função principalmente da fonte de matéria-prima e do tipo de combustível empregado (BHATTY, 1995). Porém, o Ca (Cálcio) se destaca como o elemento principal desta poeira, o qual se encontra presente em todos os processos, desde a extração da matéria prima, o calcário, passando pela produção de clínquer (matéria-prima para cimento após moagem) e obtenção de cimento (SIQUEIRA - SILVA, 2016). Já os metais pesados, são importantes tanto para os vegetais, quanto para os seres humanos, se tornam altamente tóxicos em altas concentrações, como exemplo do Cu, Zn e Ni, que através da ingestão de vegetais ou águas contaminadas, podem provocar danos à saúde humana (KARACA et al., 2010).

Mundialmente, o Brasil se destaca na produção de cimento (RODRIGUES; JOEKES, 2011; SNIC, 2013), colocando em risco as espécies nativas da região devido à grande exploração industrial sem planos ambientais concretos e em desenvolvimento. O material particulado emitido durante o processo cimenteiro provoca impactos ambientais danosos dependendo da sua composição química, estrutural e da distância da fonte emissora, como também da resistência e tolerância que o vegetal possui para sobreviver nestas regiões altamente poluídas (FARMER, 1993; GRANTZ et al., 2003).

As espécies vegetais que sobrevivem nestas regiões sob material particulado, dependem da disponibilidade de recursos encontrados, do genótipo, dos estádios de

crescimento e também do micro-habitat que elas se encontram (LEVIN, 1998; GRANTZ et al., 2003), podendo afetar os processos fotossintéticos, a reprodução, à nutrição mineral e o acúmulo de biomassa, levando a extinção de determinadas espécies que não se adaptam nestes ambientes (GRANTZ et al., 2003).

A poeira de cimento também é depositada no solo, provocando várias alterações nas características do mesmo, podendo se tornar impróprio devido ao excesso de minerais que se encontraram em sua composição, afetando diretamente o desenvolvimento dos vegetais, impossibilitando que a região seja utilizada para reflorestamento ou plantação de culturas agrícolas (MAGRAY, 2016).

2.2 Recuperação de áreas degradadas por mineradoras

As atividades antrópicas são responsáveis pela grande degradação dos ecossistemas, provocando diversos problemas para o meio ambiente. Diante disso, a recuperação de áreas degradadas se torna essencial, com o objetivo de amenizar os efeitos negativos que provocam a destruição dos ambientes naturais (SOARES, 2009). Segundo Guimarães (2009), a recuperação tem como objetivos retomar as características físicas, químicas e biológicas que fazem parte da estrutura dos locais afetados, e também, recuperar a função produtiva destas áreas.

A Constituição da República Federativa do Brasil, no capítulo VI, que consta no Artigo 225, parágrafo 2º, diz que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988). O art. 3º do Decreto 97.632/89 estabelece que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (BRASIL, 1989).

Segundo Tatsch (2011), quando se refere ao termo recuperação ele é relacionado diretamente com as áreas degradadas, visando à recomposição topográfica e à revegetação de áreas em que o relevo foi descaracterizado pela mineração e pela abertura de estradas. Porém, é necessário que as atividades de recuperação ambiental sejam realizadas ao mesmo tempo em que a exploração dos recursos minerais ocorre, já que à atividade de mineração causa diversos impactos negativos (FOSCHINI et al, 2002).

Conforme o Manual de Práticas de Conservação do solo e Recuperação de Áreas Degradadas da Embrapa, a degradação ambiental vai ocorrendo e sendo amplificada, seja em

sua fase inicial ou final, o que torna necessário o uso de técnicas de recuperação nas áreas afetadas (EMBRAPA, 2003). Sendo as principais técnicas utilizadas, a nucleação, produção de mudas, transposição do solo, transposição de galharia, poleiros naturais e artificiais e hidrossemeadura.

A escolha das técnicas a serem utilizadas para recuperar estas áreas, deve ser feita com cautela, analisando o custo benefício que trará para todo o ecossistema, sendo fundamental priorizar o desenvolvimento sustentável, além de proporcionar um equilíbrio do crescimento econômico com a conservação ambiental. Devido ao escasso número de trabalhos publicados envolvendo a recuperação de áreas degradadas pela indústria cimenteira, fica evidente a importância de realizar este tipo de pesquisa, a fim de contribuir para futuros projetos ambientais.

2.3 Efeito da poeira de cimento na morfologia e fisiologia das plantas

A poeira de cimento afeta os vegetais devido principalmente à composição química da poeira, ocorrendo uma crosta ao ser depositada em cima de uma superfície, mais especificamente a folha, e quando em contato com o orvalho, névoa ou garoa, sofre hidratação, provocando reações químicas prejudiciais aos vegetais (MANDRE; KLÖSEIKO; TUULMETS, 1999; SINGH; RAO, 1980).

Várias alterações podem ocorrer no microambiente foliar devido a este tipo de poluição, sendo citadas na literatura alterações morfológicas nas folhas, como escamação, murcha e rachadura (SINGH; RAO, 1980; UMA et al., 1994), alterações fisiológicas como queda na taxa de transpiração estomática e cuticular (SINGH; RAO, 1981; MANDRE; KLÖSEIKO; TUULMETS, 1999), da concentração de clorofila (MANDRE; KLÖSEIKO; TUULMETS, 1999; LERMAN, 1974; UMA et al., 1994) e redução dos processos fotossintéticos (LAL; AMBASHT, 1982), e alterações anatômicas, como a diminuição da densidade estomática (PRASAD; INAMDAR, 1990a; PRASAD; INAMDAR, 1990b; SIBAK; GULYAS, 1990; PANES; ZAMORA, 1991). Há ainda, relatos na literatura sobre as alterações enzimáticas, como queda da atividade da enzima catalase (BORKA, 1980; ISMAIL; AHMED, 1984; MIGAHID; ELDARIER, 1995).

Em estudos feitos com a espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), foram observados que nas plantas pulverizadas pela poeira de cimento houve sintomas de clorose, seguida de necrose e até mesmo quedas foliares, mostrando ainda, um aumento nos teores de clorofila a, b e total e também um aumento dos macro e micronutrientes alumínio

(Al) e sódio (Na), evidenciando que esta espécie é sensível a contaminação por poeira de cimento (BUJOKAS; MARTINS; MARQUES, 2010).

Na espécie *Ficus carica* L., após a contaminação pela poeira de cimento, foi verificada uma queda no conteúdo total de clorofila foliar, levando a uma redução do rendimento econômico das figueiras de até 50% de acordo com Abdel-Rahman (2012). Já experimentos realizados com algodão (*Gossypium hirsutum* L.) mostraram que houve uma redução da condutância estomática, da taxa fotossintética e da transpiração, seguida de um aumento da temperatura foliar (ZIA-KHAN, 2014).

Um estudo recente, realizado com *Lantana camara* L. e *Calotropis procera* (Ait.) evidenciou alterações nas características epidérmicas e estomáticas nas folhas, quando comparadas com o controle e com o ambiente sob o efeito da poluição por poeira de cimento (TIWARI; PANDEY, 2017). As folhas de *L. camara*, apresentaram uma modificação no número, comprimento e largura dos tricomas em locais poluídos, sendo uma característica adaptativa a este tipo de estresse. *L. camara* também mostraram uma redução no número, tamanho e nos índices estomáticos, já em *C. procera*, houve uma diminuição do número, frequência e no índice estomático, porém houve um aumento no comprimento e largura da célula guarda no ambiente poluído. Isso evidencia que o estresse pela poluição por poeira de cimento afeta as características anatômicas nas folhas de determinados vegetais (TIWARI; PANDEY, 2017).

Siqueira - Silva (2016) realizou um experimento na casa de vegetação com as espécies de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae), *M. urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) e *Trichilia hirta* L. (Meliaceae), sendo relatada, para as quatro espécies, a formação de uma crosta de cimento na superfície foliar, bloqueando parte da luz incidente e obstruindo os estômatos, além de alterações nos teores de pigmentos fotossintéticos, na anatomia e na composição nutricional.

Este fato também foi elucidado por Farmer (1993), Hirano et al. (1995), Grantz et al. (2003) e Pereira et al. (2009), onde relataram como a poeira de cimento pode afetar os vegetais, podendo ser depositada na superfície foliar, formando uma crosta, bloqueando os raios solares, provocando abrasão, aquecimento foliar e alterações nas trocas gasosas. Através dos estômatos ou de fissuras na cutícula, a poeira de cimento pode ainda entrar no mesofilo foliar (WATMOUGH et al., 1999; LAU; LUK, 2001), provocando alterações químicas podendo resultar em danos estruturais e metabólicos.

Com isso, os vegetais podem sofrer danos irreversíveis ao entrar em contato com estes poluentes, como a clorose, que ocorre no primeiro momento, onde as folhas verdes perdem a sua coloração, afetando diretamente a fotossíntese. Posteriormente, pode ocorrer à necrose, que é a morte celular, e por último o vegetal pode entrar em abscisão foliar, onde há a queda de suas folhas, tornando desta forma, um número de indivíduos reduzidos nestas áreas (PRUSTY et al., 2005).

Portanto, estudos relacionados às variáveis fisiológicas, bioquímicas e anatômicas dos vegetais, são essenciais para que possa ser estabelecido um grau de tolerância e seletividade das espécies em ambientes impactados, contribuindo desta forma, para trabalhos envolvendo biomonitoramento e biorremediação (LIZIERI et al., 2012), bem como para o uso no reflorestamento.

2.4 Família Anacardiaceae

A espécie *M. urundeuva* (Fr. All.) pertence à família Anacardiaceae, que de modo geral, possui aproximadamente 81 gêneros e 800 espécies, as quais vivem tanto em ambientes secos quanto em ambientes úmidos, sendo encontradas mundialmente, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais, podendo ainda ser encontradas em regiões temperadas (PELL, 2011). Segundo Terrazas (1999), existem aproximadamente 32 gêneros nativos nas Américas, onde 77% das espécies são endêmicas do continente americano. No Brasil, estão catalogadas 14 gêneros, com 57 espécies de Anacardiaceae, sendo 14 restritas ao país (SILVA- LUZ; PIRANI, 2010).

Esta família pertence ao grupo de plantas lenhosas resiníferas, cujas partes jovens exalam um aroma e sabor característicos, semelhante ao do fruto verde da manga (*Mangifera indica* L.), uma das espécies mais conhecidas desta família. As folhas são simples ou compostas, e as flores são dialipétalas, isostêmones ou obdiplostêmones, com ovário súpero e geralmente uni ou tricarpelar, mas unilocular e uniovulado, produzindo frutos carnosos ou secos unisseminados (LUZ, 2011).

As espécies desta família apresentam importância econômica por fornecerem frutos comestíveis, madeiras úteis e espécies ornamentais. Entre as espécies que apresentam frutos comestíveis, se destaca a manga (*Mangifera indica* L.), os cajás (*Spondias* spp.) e o caju (*Anacardium occidentale* L.). As que possuem madeira de qualidade para ser comercializada, incluem o gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng.), o guarita (*Astronium graveolens* Jacq.) e a aroeira (*M. urundeuva* Fr. All.). Já as espécies *Schinus terebinthifolius*

Raddi, *Schinus molle* L. e *Rhus succedanea* L., são os exemplos destaques de plantas ornamentais, sendo utilizadas também para a arborização urbana (SOUZA; LORENZI, 2005).

Estudos envolvendo três espécies desta família registraram as espécies *Rhus javanica* L. e *Rhus parviflora* Roxb. como raramente disponíveis nas proximidades de uma indústria cimenteira no Nepal. E *Choerospondias axillaris* Burtt et Hill. é uma espécie muito comum encontrada nesta localidade, porém, a poluição emitida pelas indústrias de cimento pode causar uma perda imensurável de plantas endêmicas ou ameaçadas que são sensíveis à poluição e estão crescendo nesta área (CHAPAGAIN & DHAKAL, 2013).

2.5 Descrição de *Myracrodruon urundeuva* Allemão

A espécie *M. urundeuva* é conhecida popularmente como “aroeira do sertão”, e restrita a região da América do Sul, sendo considerada uma espécie tropical encontrada principalmente em vegetação mais seca, como o Cerrado e a Caatinga (RIZZINI, 1971; LORENZI, 1992; SANTIN, LEITÃO-FILHO, 1991; FLORSHEIM, 1992; PACHECO et al., 2006).

As árvores desta espécie na Caatinga possuem altura de 5- 20 m e troncos de 30-60 cm de diâmetro e no Cerrado podem atingir até 27 m de altura e 85 cm de diâmetro (LOPEZ et al., 1987). Os troncos são cilíndricos, geralmente curtos e tortuosos, apresentando uma casca com espessura de até 15 mm. As folhas caracterizam-se por serem compostas, imparipinadas, de inserção alterna, apresentando 5 a 7 pares de folíolos opostos, ovados, com até 5 cm de comprimento e 3 cm de largura (CARVALHO, 2003). É uma espécie heliófita, pubescente e medicinal, possuindo madeira de grande resistência mecânica (LORENZI, 1998; LORENZI; MATOS, 2008).

As flores podem ser masculinas, sésseis e pequenas ou hermafroditas, reunidas em panículas de até 20 cm de comprimento. Os frutos são classificados como drupas globosas, pretos com cálice persistente, com até 5 mm de diâmetro. Devido ao grande teor de tanino encontrado, esta madeira confere uma maior resistência e durabilidade, sendo resistente ao apodrecimento e ao ataque de cupins (CARVALHO, 2003).

Em vista frontal dos folíolos, as células epidérmicas possuem contorno ondulado e estômatos anomocíticos em ambas as faces, porém são pouco frequentes na face adaxial; possuem tricomas tectores, pluricelulares, constituídos de três a seis células em fileira única, de paredes espessadas e revestidas de cutícula granulosa (DUARTE et al., 2009). Na medicina, esta espécie apresenta um grande potencial, sendo o decocto da casca utilizado

como antiinflamatório ovariano e, em uso tópico, é indicado contra úlceras externas (DE FÁTIMA AGRA, Maria et al., 2007).

2.6 Família Fabaceae

A família Fabaceae é responsável pela grande diversidade nas florestas tropicais e de modo geral, possui cerca de 770 gêneros e 19.500 espécies (LEWIS et al., 2005; LPWG, 2013). De acordo com Azani et al. (2017), esta família se encontra dividida em seis subfamílias: Duparquetioideae, Papilionoideae, Caesalpinioideae, Cercidoideae, Detarioideae, Dialioideae.

As espécies desta família são caracterizadas em geral por apresentarem folhas compostas, às vezes transformadas em espinhos, nectários extraflorais, inflorescência geralmente racemosas, flores geralmente bissexuais, actinomorfas ou zigomorfas, ocasionalmente assimétricas, diclamídeas ou raramente monoclamídeas, ovário súpero e fruto geralmente do tipo legume, mas também há outros tipos, como drupa, sâmara e folículo (GAMA et al., 2013).

Estudos envolvendo a espécie *Viyna munoo* (L.) Hepper evidenciou o efeito da poluição por poeira de cimento, relatando que houve diminuição em relação à altura, biomassa e teor de clorofila em plantas que receberam poluentes provenientes da poeira de cimento (PRASAD & INAMDAR, 1990).

2.7 Descrição de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.

Espécie popularmente conhecida como orelha-de-macaco, orelha-de-negro, tamboril e timbaúva, pertencente à família Fabaceae e a subfamília Mimosoideae, baseado no The Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV, 2016. É uma árvore de porte grande e crescimento rápido, frequentemente encontrada em áreas desmatadas, em clareiras e nas bordas de matas (SCALON et al., 2008).

A espécie *E. contortisiliquum* (Vell.) Morong apresenta folhas geralmente bipinadas, exceto Ingá (paripinada), flores actinomorfas, diclamídeas, sépalas livres ou fundidas, corola com prefloração valvar, frequentemente gamopétala, estames vistosos e iguais ou duplos em relação ao das pétalas (GAMA et al., 2013; AZANI et al., 2017).

Apresenta altura variando de 20 a 35 m, tronco cilíndrico, folhas compostas, bipinadas sendo também uma espécie decídua no inverno. É nativa da América do Sul, sendo

encontrada em todos os países, mas especificamente nos estados do Pará, Maranhão, Piauí, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais (LORENZI, 2002).

A utilização da madeira para a construção de canoas, brinquedos, armações de móveis e compensados é devido ao seu fácil manejo e acabamento (LORENZI, 2002). É muito recomendada para a utilização em reflorestamento de áreas degradadas, de preservação permanente e para plantios mistos, devido ao seu rápido crescimento inicial em vários tipos de solos, podendo chegar a mais de 4 m em dois anos (ARAUJO; SOBRINHO, 2011).

Suas folhas possuem estômatos com um par de células guardas, ligeiramente imersas entre as papilas, apresentam tecido esclerenquimático reduzido ou ausente e colênquima desenvolvido na face adaxial, além de apresentarem ceras epicuticulares na superfície da cutícula em uma ou ambas as superfícies (ARAMBARRI, et al., 2006).

O decocto da casca do caule desta espécie apresenta um grande potencial medicinal, sendo utilizado para tratamentos antiinflamatórios e os seus frutos, são utilizados como shampoo contra escabioses (DE FÁTIMA AGRA, et al., 2007).

Diante deste contexto, pode-se observar que a industrialização se torna vilã do meio ambiente quando não há projetos ambientais concretos que visem à recuperação de áreas impactadas por estas indústrias. A importância de estudos envolvendo espécies nativas em ambientes sob a poluição por poeira de cimento fica evidente diante das alterações anatômicas e fisiológicas já observadas na literatura. Diante disso, estes estudos podem contribuir para futuros projetos ambientais envolvendo espécies nativas que se encontram nos arredores de fábricas de cimento.

3 REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, A. M. **Effect of Cement Dust Pollution on the Yield and Quality of *Ficus carica* L. Fruits.** Journal of Life Sciences, v. 6, n. 3, 2012.
- ABDUL-WAHAB, S.A. **Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities.** Ecological Modelling v.195, p. 338-348, 2006.
- ARAMBARRI, A. M. et al. **Leaf anatomy of medicinal shrubs and trees from Gallery forests of the paranaense province (Argentina).** Part 1. Bol. Soc. Argent. Bot, v. 41, n. 3-4, p. 233-268, 2006.
- ARAÚJO, A.P.; SOBRINHO, S.P. **Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos.** Revista Árvore, v.35, n.3, p.581-588, 2011.
- AZANI, N. et al. **A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny** The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon*, v. 66, n. 1, p. 44-77, 2017.
- BHATTY, J. I. **Role of minor elements in cement manufacture and use.** Research and Development Bulletin RD109T. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 1995.
- BORKA, G. **The effect of cement dust pollution on growth and metabolism of *Helianthus annuus*.** Environmental Pollution. Series A. Ecological and biological, London, v. 22, p. 75-79, 1980.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, 1988.
- BRASIL. **Decreto Federal 97.632,** Brasília, DF, de Abril de 1989.
- BUJOKAS, W. M.; MARTINS, K. G.; MARQUES, R.. **Crescimento, teores de clorofila e de bioelementos em indivíduos jovens de *Schinus terebinthifolius* expostos à poeira de cimento.** Floresta, v. 40, n. 3, 2010.
- CARVALHO, P. E. R. **"Aroeira verdadeira."** Embrapa Florestas- Circular Técnica (INFOTECA-E), 2003.
- CHAPAGAIN, N., & DHAKAL, M. **Vegetation record around a cement factory and the impact of dust pollution on crop productivity.** Nepalese Journal of Biosciences, 2013.
- DE FÁTIMA AGRA, M. et al. **Sinopse da flora medicinal do cariri paraibano.** Oecologia Brasiliensis, v. 11, n. 3, p. 323-330, 2007.
- DEMIR, T. A. et al. **Nickel and cadmium concentrations in plasma and Na⁺/ K⁺ ATPase activities in erythrocyte membranes of the people exposed to cement dust emissions.** Environmental Monitoring and Assessment v.104, p. 437-444, 2005.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

DUARTE, M. R. et al. **Anatomia foliar comparada de espécies de aroeira: *Myracrodruon urundeuva* alemão e *Schinus terebinthifolius* raddi**. Visão Acadêmica, v. 10, n. 1, 2009.

EMBRAPA. **Manual de práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. 1.ed. Rio Branco – AC, 2003.

FARMER, A.M. **The effects of dust on vegetation – a review**. Environmental Pollution 79, 63-75, 1993.

FLORSHEIM S. M. B. **Variações da estrutura anatômica e densidade básica da madeira de árvores de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F. F. and M. F. Allemão (Anacardiaceae)**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, p. 252, 1992.

FOSCHINI, R.C; RIBEIRO, C.G; SALVADOR, N.N.B. **Legislação ambiental sobre recuperação de áreas degradadas pela exploração de minérios e o uso do mecanismo de caução**. Ambiente- AUGM. São Carlos, dez. 2002.

GAMA, R.C., et al. **Distribuição Espacial da Família Fabaceae da Universidade Federal Do Amapá**. Anais I CONICBIO/IICONABIO/VI SIMCBIO, p.55, 2013.

GRANTZ, D. A., GARNER, J.H.B., JOHNSON, D.W. **Ecological effects of particulate matter**. Environment International v.29, p. 213-239, 2003.

GUIMARÃES, A.E.N. et al. **Análise para recuperação de uma área degradada, na micro bacia do ribeirão Taquaruçu – palmas - TO**. Faculdade Católica do Tocantins. p.14, 2009.

HIRANO, T., KIYOTA, M., AIGA, I. **Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants**. Environmental Pollution v. 89, p. 255-261, 1995.

IŞIKLI, B. et al. **Cadmium exposure from the cement dust emissions: A field study in a rural residence**. Chemosphere v.63, p. 1546-1552, 2006.

ISMAIL, F.; AHMED, S. **Effect of phytotoxic air pollution on the amino acid content of plants growing in Karachi area**. Pakistan Journal of Botany, v.16, n. 2, p. 117-122, 1984.

KARACA, A. et al. **Effects of heavy metals on soil enzyme activities**. In: Soil heavy metals. Springer Berlin Heidelberg, p. 237-262, 2010.

LAL, B.; AMBASHT, R. S. **Impact of cement dust on the mineral and energy concentration of *Psidium guayava***. Environmental Pollution. Series A. Ecological and biological, London, v. 29, p. 241-247, 1982.

LAU, O.W., LUK, S.F. **Leaves of *Bauhinia blakeana* as indicators of atmospheric pollution in Hong Kong**. Atmospheric Environment v.35, p. 3113-3120, 2001.

LERMAN, S. **Cement kiln dust and bean plant (*Phaseolus vulgaris* L. Black Valentine var.); in-dethin vetigations into plant morphology, physiology and pathology.** Dissertation Abstracts International, v. 34, n. 10, p. 4775, 1974.

LEVIN, A. S. **Ecosystemsand the biosphere as complex adaptive systems.** Ecosystems v.1, p. 431-436, 1998.

LEWIS, G. P. **Legumes of the word.** Royal Botanic Garden Kew, 2005.

LIZIERI, C., KUKI, K.N., AGUIAR, R. **The morphophysiological responses of free-floating aquatic macrophytes to a supra-optimal supply of manganese.** Water, Air and Soil Pollution v.223, p. 2807-2820, 2012.

LOPEZ, J. A. et al. **Arbolescomunes del Paraguay: fiandeyvyra mata kuera.** Washington: Cuerpo de Paz, Asunción (Paraguay), p. 425, 1987.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, p. 352, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Instituto Plantarum, São Paulo, 1998.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** Ed. Nova Odessa/SP: Instituto Plantarum, v. 1.4., 2002.

LORENZI, H., MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas.** Instituto Plantarum, São Paulo, p. 544, 2008.

LPWG, Legume Phylogeny Working Group. **Legume phylogeny and classification in the 21st century: Progress, prospects and lessons for other species-rich clades.** Taxon 62: 217–248, 2013.

LUZ, C. L. S. **Anacardiaceae R. Br. na flora fanerogâmica do estado de São Paulo.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

MAGRAY, R. A. et al. **Studies on the Impact of Cement Dust Pollution on Selected Vegetable Crops.** Tese de Doutorado. 2016.

MANDRE, M. et al. **Changes in phytomass and nutrient partitioning in young conifers in the extreme alkaline growth conditions.** Environmental Pollution, Barking, v. 105, n. 2, p. 209-220, 1999.

MIGAHID, M. M.; EL-DARIER, S. M. **Effect of cement dust on three halophytic species of the Mediterranean salt marshes in Egypt.** Journal of Arid Environments, London, v. 30, n. 3, p. 361-366, 1995.

OGUNBILEJE, J. O. et al. **Lead, mercury, cadmium, chromium, nickel, copper, zinc, calcium, iron, manganese and chromium (VI) levels in Nigeria and United States of America cement dust.** Chemosphere v. 90, p. 2743-2749, 2013.

PACHECO M., et al. **Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae).** Revista Árvore 30: 359 – 367, 2006.

PANES, V. A.; ZAMORA, P. M. **Leaf epidermical features of four Philippine plants as indicators of cement dust pollution.** Philippine Journal of Science, Manila, v. 120, n. 3, p. 249-267, 1991.

PELL, S.K. et al. **The families and genera of vascular plants. X. Flowering plants. Eudicots. Sapindales, Curcubitales, Myrtales.** Springer, Anacardiaceae. In K. Kubitzki (Ed.), Berlin, p. 7- 50, 2011.

PEREIRA, E. G. et al. **Photosynthetic changes and oxidative stress caused by iron ore dust deposition in the tropical CAM tree *Clusia hilariana*.** Trees – Structure and Function v.23, p. 277-285, 2009.

PRASAD, M. S. V.; INAMDAR, J.A. **Effect of cement kiln dust pollution on black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper).** Proceedings of the Indian Academy of Sciences. Plant Sciences, Bangalore, v. 100, n. 6, p. 435- 443, 1990a.

PRASAD, M. S. V.; INAMDAR, J. A **Effect of particulate pollution on *Pisum sativum* L.** Journal of Phytological Research, v. 3, n. 1-2, p. 71-77, 1990b.

PRUSTY, B. A. K.; MISHRA, P. C.; AZEEZ, P. A. **Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 60, n. 2, p. 228-235, 2005.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira.** São Paulo: E. Blücher, p. 294, 1971.

RODRIGUES, F.A., JOEKES, I. **Cement industry: sustainability, challenges and perspectives.** Environmental Chemistry Letters 9, p. 151-166, 2011.

SANTIN, D. A.; LEITÃO FILHO, H.F. **Restabelecimento e revisão taxonômica do gênero *Myracrodruon* Freire Alemão (Anacardiaceae).** Revista Brasileira de Botânica, São Paulo, v.14"n.2, p.133-145, 1991.

SCALON, S. D. P. Q., et al. **Armazenamento, germinação de sementes e crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.** Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 27, n. 2, p. 107-112, 2008.

SIBAK, S.; GULYAS, S. **Leaf anatomical changes in perishing acaluous oaks.** Acta Universitatis Szegediensis Acta Biologica, v. 36, n. 1-4, p. 43-52, 1990.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. **Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species.** Chemosphere, v. 158, p. 56-65, 2016.

SILVA-LUZ, C. L. & PIRANI, J. R. Anacardiaceae. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, In R.C. Forzza et al. (org.), v. 1, p. 599-602, 2010.**

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual de 2013**. Disponível em: <<http://www.snic.org.br>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

SINGH, S. N.; RAO, D. N. **Growth of wheat plants exposed to cement dust pollution**. Water, Air, and Soil Pollution, v. 14, p. 241-249, 1980.

SOARES, S. M. P. **Técnicas de restauração de áreas degradadas**. Texto apresentado ao Programa de Pós Graduação em “Ecologia aplicada ao manejo e conservação dos recursos naturais” como parte das exigências para a conclusão da disciplina Estágio em docência. Disponível em: http://www.ufjf.br/ecologia/files/2009/11/estagio_Silvia_Soares1.pdf. Acesso em 30 de Janeiro/2019, v. 20, 2009.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Instituto Plantarum, 2005.

TATSCH, G. L. **Recuperação de uma área degradada através do método de nucleação – Santa Margarida do Sul**. Curso de Engenharia Florestal - Universidade Federal do Pampa, São Gabriel. p.40, 2011.

TERRAZAS, T. **Anatomía de lamadera de Anacardiaceae conénfasisenlos géneros americanos**. Boletín de laSociedadBotánica de Méxicov.64 p.103-109, 1999.

TIWARI, P.; PANDEY, S. **Impact of Cement Dust Pollution on Leaf Anatomical Features of *Lantana camara* and *Calotropis procera***. Current Science International, v. 6, n.1, p. 34-40, 2017.

UMA, C. H.; RAO, T. V. R.; INAMDAR, J. A. **Impact of cement kiln dust pollution on sunhemp (*Crotalaria juncea*L.)**. Phytomorphology, New Delhi, v. 44, n. 3-4, p. 223-229, 1994.

WATMOUGH, S. A., HUTCHINSON, T. C., EVANS, R. D. **The distribution of ⁶⁷Zn and ²⁰⁷Pb applied to white spruce foliage at ambient concentrations under different pH regimes**. Environmental and Experimental Botany v.41, p.83-92, 1999.

ZIA-KHAN, S. et al. **Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in northwest China**. Water, v. 7, n. 1, p. 116-131, 2014.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

Redigido nas normas de ACTA SCIENTIARUM. BIOLOGICAL SCIENCES

**EFEITO DA DEPOSIÇÃO DE POEIRA DE CIMENTO EM FOLHAS DE
MYRACRODRUON URUNDEUVA (FR. ALL.) (ANACARDIACEAE) E
ENTEROLOBIUM CONTORTISILIQUUM (VELL.) MORONG (FABACEAE)**

**EFFECT OF CEMENT DUST POLLUTION ON LEAVES OF *MYRACRODRUON*
URUNDEUVA (FR. ALL.) (ANACARDIACEAE) AND *ENTEROLOBIUM*
CONTORTISILIQUUM (VELL.) MORONG (FABACEAE)**

ESPÉCIES NATIVAS SOB POLUENTES DE SIDERÚRGICAS

NATIVE SPECIES UNDER STEEL POLLUTANTS

RESUMO

O presente trabalho objetiva avaliar os impactos da deposição da poeira de cimento na estrutura anatômica e em processos fisiológicos das folhas das espécies *Myracrodruon urundeuva* e *Enterolobium contortisiliquum* visando avaliar possível tolerância a poluição por poeira de cimento. O material vegetal foi coletado, levando em consideração a distância das áreas de interesse em relação a uma fábrica de cimento, sendo analisadas três áreas (Área 1- 2 km, Área 2 – 2,7 km e Área 3 – 3,4 km) para cada espécie. As análises anatômicas foram baseadas em secções paradérmicas e transversais das folhas. Também foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura da superfície foliar e análises de trocas gasosas e teor de clorofila. Foram analisadas, ainda, a área foliar específica, além de análises nutricionais da folha e do solo em cada uma das áreas. As informações microclimáticas foram fornecidas por uma estação meteorológica próxima ao local. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média. A espécie *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior espessura da epiderme adaxial, abaxial e cutícula na área 3, além de menor densidade estomática, condutância estomática e taxa fotossintética na área 2 e a transpiração maior na área 3. Enquanto *Enterolobium contortisiliquum* obteve uma menor espessura na epiderme adaxial e cutícula, além de maior densidade estomática na área 1, já a concentração de carbono intercelular e o teor de clorofila foram menores na área 3. A exposição à poeira de cimento não provocou alterações na composição mineral das folhas de ambas as espécies. As características nutricionais do solo não variaram nas três áreas de estudo. Ambas as espécies apresentaram algumas alterações devido à poeira de cimento. Portanto, as espécies nativas *Myracrodruon urundeuva* e *Enterolobium contortisiliquum* podem ser indicadas para a utilização em reflorestamento ambiental envolvendo áreas impactadas pela indústria cimenteira.

Palavras-chave: Anatomia foliar; Reflorestamento; Trocas gasosas.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the impact of cement dust deposition on the anatomical structure and physiological processes of the leaves of the species *Myracrodruon urundeuva* and *Enterolobium contortisiliquum*, in order to evaluate possible tolerance to cement dust pollution. The plant material was collected taking into account the distance of the areas of interest in relation to a cement factory, with three areas for each species being analyzed. The anatomical analyzes were based on the paradermico and transverse sections of the leaves. Scanning electron microscopy analyzes of leaf surface and analysis of gas exchange and chlorophyll content were also carried out. Also, specific leaf area was analyzed, besides nutritional analyzes of leaf and soil in each of the areas. The microclimatic information was provided by a weather station near the site. Data were submitted to analysis of variance and mean test. The species *Myracrodruon urundeuva* had a greater thickness of adaxial, abaxial and cuticle epidermis in area 3, as well as a lower stomatal density, stomatal conductance and photosynthetic rate in area 2, and greater transpiration in area 3. While *Enterolobium contortisiliquum* obtained a smaller thickness in the adaxial epidermis and cuticle and in addition to greater stomatal density in area 1, the intercellular carbon concentration and the chlorophyll content were lower in area 3. The exposure to cement dust did not cause changes in the mineral composition of the leaves of both species. The nutritional characteristics of the soil did not vary in the three study areas. Both species showed some change due to cement dust. Therefore, the native species *Myracrodruon urundeuva* and *Enterolobium contortisiliquum* may be indicated for use in environmental reforestation involving areas impacted by the cement industry.

INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, houve uma crescente industrialização, sendo o principal fator responsável pela degradação ambiental do planeta, devido aos impactos provocados no solo e a contaminação das águas e do ar em escala exponencial. (BRAGA, HESPANHOL e CONEJO, 2002). A poluição quando lançada no meio ambiente, pode se tornar bioacumuladora por diversos organismos vivos, tanto em seus tecidos, como em seus órgãos, tornando estes poluentes disponíveis e acumulados ao longo das teias tróficas (ALMEIDA, 2006). Com isso, devido à grande exploração industrial e os escassos projetos visando à elaboração de planos ambientais, estas indústrias podem colocar em risco as espécies nativas das regiões onde se instalam (RODRIGUES; JOEKES, 2011; SNIC, 2013).

As espécies vegetais quando em contato com a poluição pela poeira de cimento, podem sofrer danos de diferentes formas, como anatômicos, fisiológicos e morfológicos (GRANTZ et al., 2003). Mais especificamente, afetando a fotossíntese, transpiração e respiração, permitindo ainda, a penetração de poluentes gasosos fitotóxicos nas folhas (FARMER et al., 1993). Entretanto, Lizieri (2012) e Ogunkunle et al. (2013), observaram que há espécies que são tolerantes a este tipo de poluição, o que as tornam um grande potencial para a utilização no reflorestamento ambiental nestas áreas ou até mesmo em trabalhos envolvendo biomonitoramento e biorremediação.

Estudos já foram realizados a respeito dos efeitos que a poluição por poeira de cimento pode causar nos vegetais, porém em sua maioria foram realizados em casa de vegetação, como Siqueira - Silva (2016) que fez um estudo com quatro espécies presentes em afloramentos calcários, sendo elas a *Guazuma ulmifolia* Lam., *Cedrela fissilis* Vell., *Trichilia hirta* L. e *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. Por outro lado, estudos biológicos realizados em campo são de grande importância, pois permitem analisar a inter-relação planta-ambiente (INOUE, 2010).

As espécies *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (Fabaceae) são nativas da América do Sul (MACEDO; FERREIRA, 2004; ALBUQUERQUE et al., 2007; MARINHO et al., 2007). A primeira ocorre em áreas de afloramentos calcários, onde estão sujeitas a impactos ambientais provocados por indústrias cimenteiras e, portanto, sofrem danos tanto com a poluição gerada por estas indústrias como também com o desmatamento provocado pela instalação das mesmas (SIQUEIRA - SILVA, 2016). Enquanto, a segunda se destaca por apresentar um rápido crescimento inicial, sendo muito utilizada para o reflorestamento de áreas degradadas

(ARAUJO; SOBRINHO, 2011), e considerada uma espécie que apresenta plasticidade ecológica, encontrada em várias regiões fitoecológicas no Brasil (CARVALHO, 1994).

Recuperar uma área afetada pelas atividades de mineração exige o conhecimento de vários fatores, a fim de estabelecer quais as técnicas devem ser aplicadas, tendo como objetivo restabelecer a vegetação (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2005). Espécies que conseguem perpetuar em áreas que sofrem este tipo de degradação podem ser consideradas resistentes e consequentemente, utilizadas em projetos envolvendo a recuperação destas áreas (LOPES, 2016).

Neste sentido, verifica-se a necessidade de conhecer as respostas anatômicas e fisiológicas de espécies nativas, encontradas sob condições de poluição por poeira de cimento, a fim de verificar a tolerância. Diante deste contexto, objetivou-se avaliar os impactos da deposição da poeira de cimento na estrutura morfológica e em processos fisiológicos das folhas, das espécies *M. urundeuva* e *E. contortisiliquum* visando avaliar o nível de tolerância destas espécies em ambientes sob a poluição por poeira de cimento.

Acredita-se que os fatores ambientais relacionados à poluição por poeira de cimento podem provocar modificações na estrutura externa e interna nas folhas das espécies e também nos processos de trocas gasosas, alterando o crescimento e a distribuição das espécies na região sob estes poluentes.

Por outro lado, as espécies que ocorrem nos arredores das fábricas de cimento, podem apresentar adaptações anatômicas e fisiológicas que permitem sua ocorrência nestas áreas, indicando que elas são tolerantes a este tipo de poluição, e desta forma, podem ser utilizadas em técnicas de recuperação de áreas degradadas por mineradoras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterizações do local de coleta e do material vegetal

O município de Arcos se localiza no centro oeste do estado de Minas Gerais, sendo uma área correspondente a 509, 873 km² com uma população de 36.597 hab. e com área predominante de Cerrado e Mata Atlântica de acordo com o IBGE, 2013. Esta cidade é conhecida como a capital do calcário, devido a sua localização ao sul do grupo cárstico Bambuí, o qual se caracteriza por apresentar grandes reservas de rochas carbonáticas (FRAGOSO et al., 2011).

Os dados microclimáticos foram fornecidos pela estação meteorológica da cidade de Formiga – MG – A524, que fica a 30 km da cidade de Arcos – MG. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o estado de Minas Gerais apresenta, predominantemente, o clima Aw, isto é, um clima tropical com inverno seco. Uma característica marcante destas regiões é no período de chuva a presença de uma fisionomia sempre verde e nos períodos de estiagem uma vegetação completamente seca (RADAM BRASIL, 1983). A característica fitogeográfica das regiões cársticas, observa-se o predomínio da Floresta Estacional Decidual e do Cerrado (URURAHY et al., 1983).

Os solos de Arcos são classificados em sua maioria como latossolo vermelho distrófico e se caracterizam por apresentar coloração avermelhada, devido aos teores altos de óxido de ferro e também apresentam uma baixa quantidade de água disponível para as plantas, sendo susceptível a compactação, de acordo com a EMBRAPA-MG (2017).

O material vegetal utilizado foi selecionado devido a sua maior ocorrência na região de estudo, sendo coletado de acordo com as distâncias em relação à portaria da fábrica de cimento. As áreas de coleta de *M. urundeuva* e *E. contortisiliquum* foram a uma distância média de 2 km (Área 1), 2,7 km (Área 2) e 3,4 km (Área 3) sendo, portanto, três áreas de coleta para cada espécie (Figura 1).

A área 1, se encontra mais próxima a portaria da indústria de cimento, porém é uma área com mata mais fechada, a qual está localizada ao lado da área de preservação permanente (APP) da mineradora. A área 2 por sua vez, se encontra a uma média distância da portaria e se caracteriza visualmente por apresentar mata aberta, sem a presença de muitas espécies ao redor da área de coleta, portanto, pode ser uma área que recebe uma maior concentração de poeira de cimento. E por último, a área 3, a qual está situada mais distante em relação as demais, e se encontra atrás de uma pedreira não explorada, formando uma barreira, porém pôde-se observar que possui uma mata aberta, possibilitando a entrada de poluentes provenientes da mineradora.

Figura 1 - Amostragem da coleta dos materiais vegetais. Fábrica de cimento (-20.320550, -45.592022), Área 1 (-20.331288, -45.584445), Área 2 (-20.338059, -45.583836) e Área 3 (-20.341157, -45.576743). Seta preta: portaria da fábrica de cimento. Fonte: Google Maps (2019).



Foi realizada uma coleta do material vegetal, no início de março de 2018, sendo amostrados 5 indivíduos de cada espécie por área, configurando 5 repetições por área para cada espécie. A espécie de *M. urundeuva* teve a emissão das folhas em Outubro de 2017, ficando expostas durante quatro meses à poeira de cimento, e a espécie *E. contortisiliquum*, teve um período maior de exposição devido suas folhas já estarem presentes no mês de Outubro de 2017, quando as áreas foram observadas para as análises.

Análises anatômicas foliares

Foram selecionadas folhas expandidas, livres de patógenos e herbivoria, localizadas no meio da copa das árvores onde a coleta foi realizada sempre do mesmo lado em relação ao sol. As folhas coletadas foram fixadas em solução de FAA (formaldeído, ácido acético e etanol 70%) por 72 horas, e, então preservadas em etanol 70%. Foram realizadas secções paradérmicas e transversais em 5 folhas/indivíduo, sendo analisados 5 campos/folha.

As secções paradérmicas foram realizadas em ambas as superfícies foliares, à mão livre, com auxílio de lâmina de aço. As secções foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio a 50%, por cerca de 1 minuto, seguidas por lavagem em água destilada duas vezes por 10 minutos, seguido pela coloração com safranina 1%. As secções foram montadas com glicerina 50% (JOHANSEN, 1940), cobertas com lamínula e fotografadas em microscópio óptico Nikon E100LED com câmera digital acoplada (Infinity1). Com relação às análises estomáticas, foram feitos cálculos de densidade (número de estômatos/mm²), índice ([número

de estômatos/número de estômatos + número de células epidérmicas]/100) estomáticos e o diâmetro polar e equatorial dos estômatos. Essas análises foram realizadas na face abaxial da epiderme, onde os estômatos estão presentes e sendo feitas por meio do software de análise de imagens UTHSCA-Imagetool versão 3.0.

As secções transversais foram obtidas de fragmentos de 2cm² retirados das regiões da nervura central das folhas. Para as análises, o material foi submetido a uma série etanólica crescente para desidratação (70, 80, 90 e 100%), a temperatura ambiente de acordo com Johansen (1940), com modificações. Em seguida o material foi imerso em solução de pré-infiltração, composta por etanol 100% e resina base (1:1), segundo as instruções do fabricante (kit Historesina Leica) por 24 horas. Após esse período, foi realizada a infiltração em resina base por mais 24 horas à 4°C.

Para a polimerização foi utilizado o kit Historesina (hidroxietilmetacrilato, Leica, Heidelberg). Foram realizadas secções em micrótomo rotativo semiautomático, em espessura de 7 µm, sendo em seguida coradas em solução de Azul de Toluidina 1%, pH 6,7 (FEDER & O'BRIEN, 1968). As secções foram fotografadas em microscópio óptico Zeiss com câmera digital acoplada (AzioCam ERc5s) e as análises foram feitas por meio do software UTHSCSA-Imagetool, versão 3.0, permitindo a medição dos tecidos foliares. Foram analisados a espessura da epiderme e da cutícula nas faces adaxial e abaxial das folhas, a espessura dos parênquimas paliádico e esponjoso, a espessura do limbo foliar e a proporção da área de xilema na nervura central.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Foram analisadas 5 amostras foliares por espécie de cada área, que foram fixadas em Karnovsky modificado (glutaraldeído 2,5%, formaldeído 2,5% e lavadas em solução tampão cacodilato a 0,05M (3 vezes por 10 minutos cada amostra), sendo fixadas em tetróxido de ósmio a 1% durante 4 horas, em temperatura ambiente. Em seguida, foram desidratadas em acetona em uma série progressiva (25%, 50%, 75%, 90%) por 10 minutos e na concentração de 100% por 3 vezes de 10 minutos em cada amostra e em seguida submetidas à secagem ao ponto crítico. Posteriormente, foram fixadas em suporte metálico com uma fita dupla face comum e recobertas com ouro metálico (10nm) em equipamento BAL-TEC, SCD-050. Por fim, os materiais foliares foram observados e documentados em Microscópio Eletrônico de Varredura LEO EVO 40XVP (ALVES, 2012).

Análises das trocas gasosas e do teor de clorofila

Foram realizadas análises das trocas gasosas em campo, sendo selecionadas folhas expandidas, livres de patógenos e herbivorias, localizadas no meio da copa das árvores e do mesmo lado em relação ao sol, sendo 5 folhas por indivíduo de cada espécie, por área.

As características de trocas gasosas foram avaliadas através de um analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT. Foi avaliada a taxa fotossintética líquida (A), a condutância estomática (gs), a taxa transpiratória (E), a eficiência do uso da água (EUA) e a concentração de carbono intercelular (Ci). As análises foram realizadas no período da manhã.

O teor de clorofila foi avaliado de modo indireto, utilizando o medidor portátil de clorofila (clorofilômetro) SPAD (soil plant analysis development). Os dados foram convertidos em mg dm^{-2} , de acordo com Zhu et al., (2012).

Área foliar específica

Foram coletadas 5 folhas de cada indivíduo por espécie por área, sendo elas do quinto nó (considerando ápice para a base), expandidas, livres de patógenos e herbivoria, armazenadas e identificadas separadamente de cada espécie e de cada área analisada.

Após a coleta e ainda frescas, as folhas foram escaneadas e com o auxílio do software ImageJ foi obtida a medida da área foliar considerando seu contorno. Em seguida, foram secas em estufa com circulação de ar por um período de 72 horas e após esse período foram pesadas individualmente em uma balança analítica obtendo-se a massa seca. A área foliar específica (AFE) foi obtida pela relação entre a área foliar (cm^2) e a massa seca da folha (g) (HUNT et al., 2002).

Análises nutricionais da folha e do solo

Foram selecionadas folhas expandidas, livres de patógenos e herbivoria e armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados. Posteriormente, foram secas em estufa com circulação de ar à 60°C por um período de 72 horas.

Em seguida, cerca de 3g de folhas de cada indivíduo foram encaminhadas ao laboratório de análise foliar onde foram trituradas e moídas a moinho do tipo Wiley e armazenadas em saquinhos devidamente identificados para análise. Foi realizada a análise nutricional completa, onde são considerados todos os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Mn, Zn, Fe).

Para as análises químicas do solo, o sedimento fracionado foi seco em estufa de circulação forçada à temperatura de 40 °C até peso constante. Após digestão ácida os elementos foram determinados em analisador elementar Perkin Elmer 2400 (CHNS/O).

Análises estatísticas

As unidades experimentais foram realizadas através do delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde foram amostradas 3 áreas com 5 repetições para a espécie (*M. urundeuva* (Fr. All.) e *E. contortisiliquum* (Vell.) Morong.).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e teste de média Scott Knott à 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2014) . Para confecção dos gráficos utilizou-se o software Sigma Plot (versão 12.1).

RESULTADOS

Quantificação dos nutrientes nas folhas e composição química do solo

À exposição à poeira de cimento não causou alteração na composição mineral (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn, Fe) das folhas de ambas as espécies (Tabela 1 e 2). Em relação ao solo, houveram diferenças em suas texturas em relação às áreas analisadas (Tabela 3). A área 1 foi considerada como de textura arenosa e pH 7,4, a área 2 de textura média e pH 6,9 e a área 3 de textura argilosa com pH 7,5. As características nutricionais analisadas (K, Ca, Mg, Al, Zn, Fe, Mn, Cu, Bo, S) não variaram nas três áreas de estudo.

Tabela 1 – Quantificação dos nutrientes das folhas de *Myracrodruon urundeuva*. A1 – área 1, A2- área 2 e A3 – área 3.

Nutrientes (ppm)	A1	A2	A3
N	01,98a	02,04a	01,81a
P	00,66a	00,41a	00,37a
K	00,87a	00,56a	00,48a
Ca	02,05a	02,54a	02,37a
Mg	00,33a	00,42a	00,41a
S	00,34a	00,32a	00,30a
B	42,45a	50,85a	47,43a
Cu	02,58a	02,26a	03,60a
Mn	08,63a	17,66a	09,91a
Zn	81,76a	13,07a	07,68a
Fe	225,04a	267,50a	212,08a

As médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott knott à 5% de significância.

Tabela 2 – Quantificação dos nutrientes das folhas de *Enterolobium contortisiliquum*. A1 – área 1, A2- área 2 e A3 - área 3.

Nutrientes (ppm)	A1	A2	A3
N	02,07a	02,33a	02,41a
P	00,13a	00,14a	00,13a
K	00,63a	00,87a	00,81a
Ca	01,07a	01,28a	01,21a
Mg	00,58a	00,55a	00,67a
S	00,29a	00,22a	00,66a
B	39,96a	35,45a	60,49a
Cu	01,74a	04,19a	03,56a
Mn	37,66a	39,9a	57,73a
Zn	03,65a	07,06a	07,31a
Fe	199,03a	214,58a	199,73a

As médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott knott à 5% de significância.

Tabela 3 – Quantificação dos nutrientes no solo.

Composição química do solo	A1	A2	A3
pH	7,4	6,9	7,5
Ca - cmolc/dm ³	11,17a	08,79a	10,81a
Mg - cmolc/dm ³	02,06a	01,98a	01,48a
Al - cmolc/dm ³	00,03a	00,03a	00,05a
Zn - mg/dm ³	07,61a	04,06a	11,09a
Fe - mg/dm ³	037,87a	183,87a	35,34a
Mn - mg/dm ³	220,95a	219,77a	151,04a
Cu - mg/dm ³	01,58a	02,49a	01,85a
K - mg/dm ³	80,96a	64,92a	37,84a
Bo - mg/dm ³	00,07a	00,07a	00,01a
S - mg/dm ³	07,59a	05,78a	00,96a

As médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott knott à 5% de significância.

Caracterização anatômica do Limbo e da Superfície Foliar

Em secção transversal, *E. contortisiliquum* apresentou células epidérmicas proporcionalmente iguais em tamanho tanto da face adaxial quanto da face abaxial das folhas (Figura 2 – A e B), pouca presença de cutícula, sendo uma fina camada mais evidente na face adaxial (Figura 4 – A, C e E).

Há também, uma camada mais densa de parênquima paliçádico (Figura 4 – A, C e E), com suas células alongadas e perpendiculares as células epidérmicas além de apresentar três camadas de parênquima esponjoso (Figura 4 – A, C e E), com células isodiamétricas, porém

com poucos espaços intercelulares, sendo estas características pouco relatadas na literatura. Os estômatos desta espécie são anomocíticos, com as células guarda imersas entre as papilas (Figura 3 – A, C e E), sendo as folhas classificadas como hipoestomática. Junto aos estômatos há a presença de uma ou duas papilas com aspecto arredondado (Figura 3 – A, C e E).

A espécie *M. urundeuva* apresentou células epidérmicas tabulares, com contornos ondulados e estômatos anomocíticos em ambas as faces, embora sejam pouco frequentes na face adaxial (Figura 2 – C e D), sendo estes, no mesmo nível que as células epidérmicas (Figura 3 – B, D e F). As células epidérmicas da face adaxial são comparativamente maiores que as da face abaxial (Figura 2 – C e D).

A epiderme na face adaxial das folhas apresentou a cutícula mais espessa, enquanto na face abaxial observou-se uma fina camada de cutícula (Figura 4 – B, D e F). Há uma camada mais densa de parênquima paliçádico e três camadas de parênquima esponjoso (Figura 4 – B, D e F).

Figura 2 – Epiderme de *Enterolobium contortisiliquum*. A – AdE (Epiderme da face adaxial) / B – AbE (Epiderme da face abaxial) / E (Estômato). Epiderme de *Myracrodruon urundeuva*. C – AdE (Epiderme da face adaxial) / D – AbE (Epiderme da face abaxial) / E (Estômato). Barras: 50 μ m.

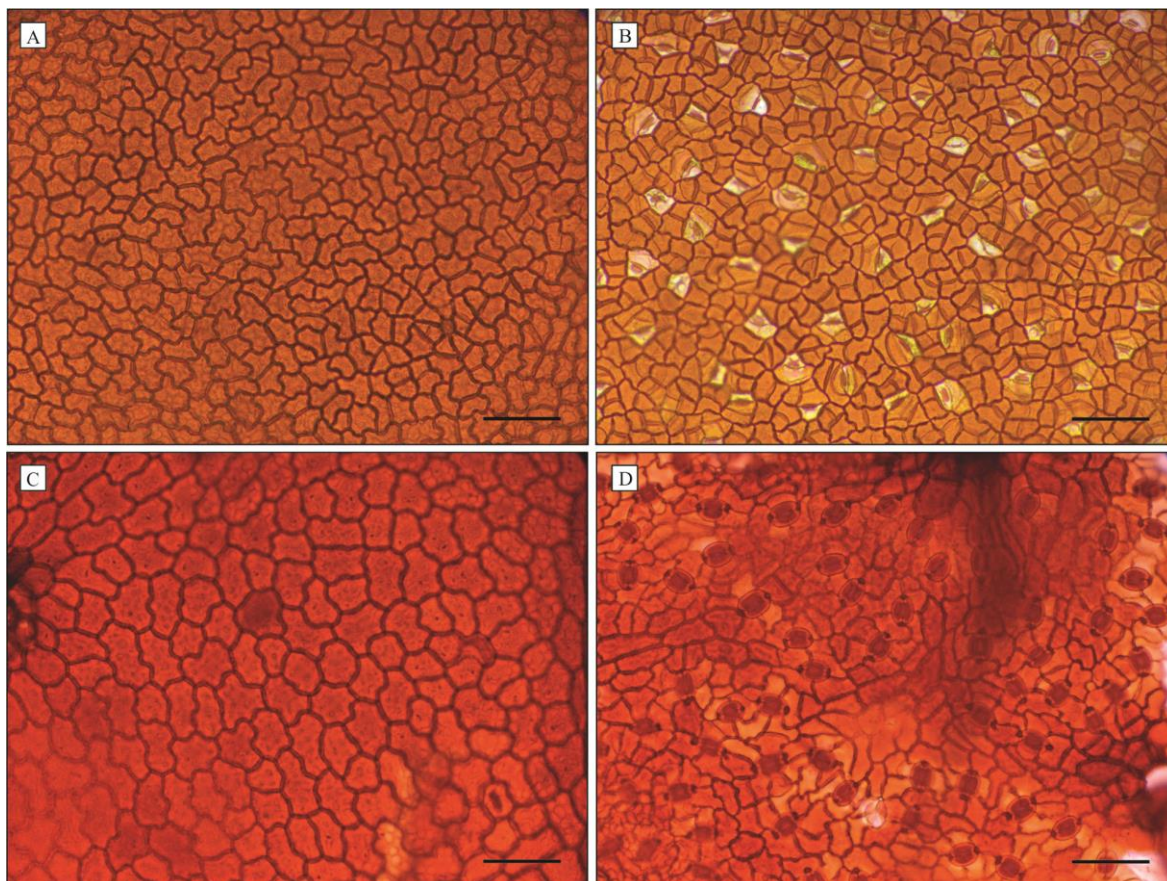


Figura 3 – Eletromicrografia da superfície epidérmica de folhas de *Enterolobium contortisiliquum* e *Myracrodruon urundeuva*. A – Área 1/ B – Área 2/ C – Área 3. AbE (epiderme da face abaxial) / E (estômato) / P (papila). Barra: 10 μ m (esquerda) e 20 μ m.(direita)

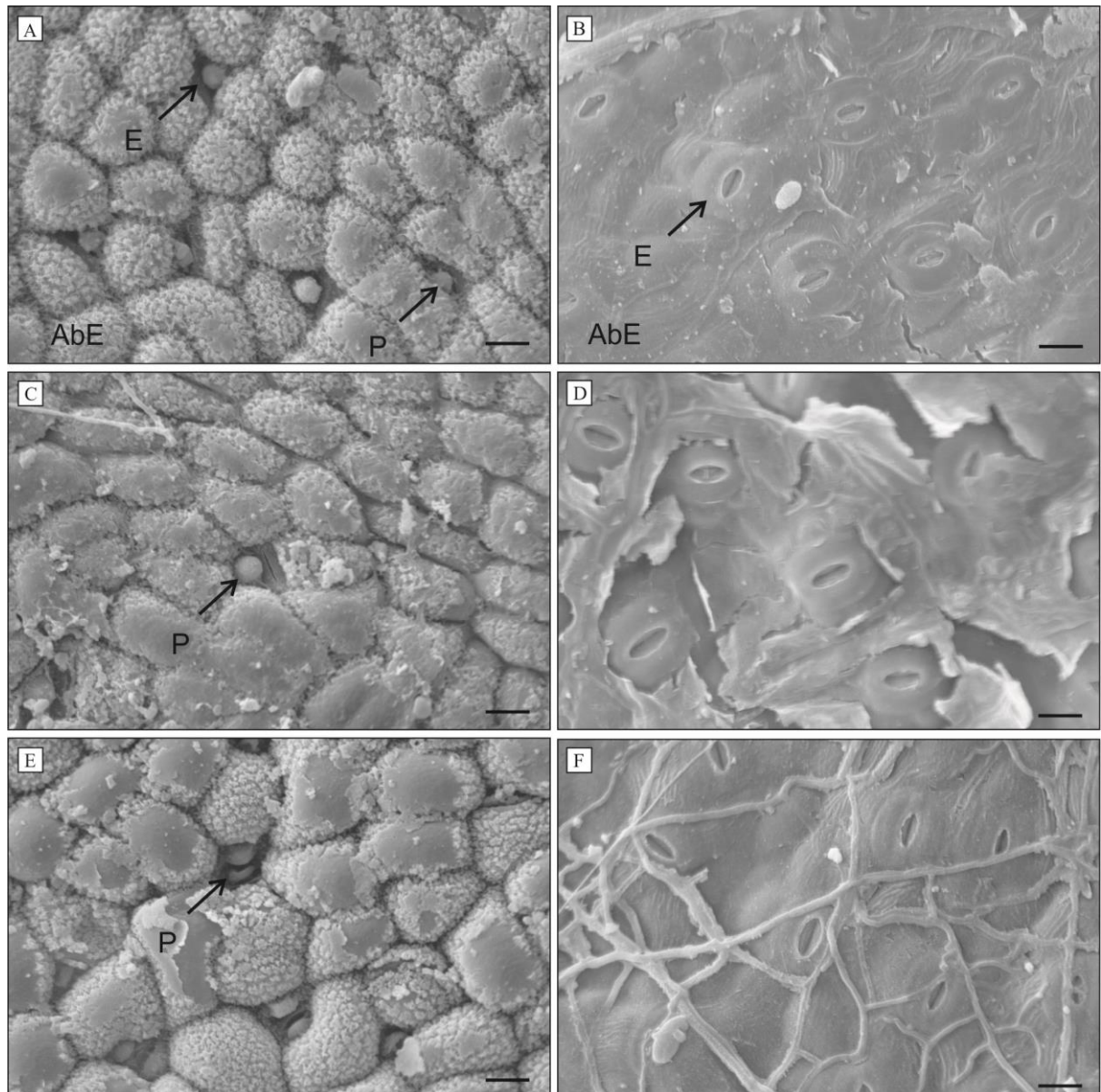
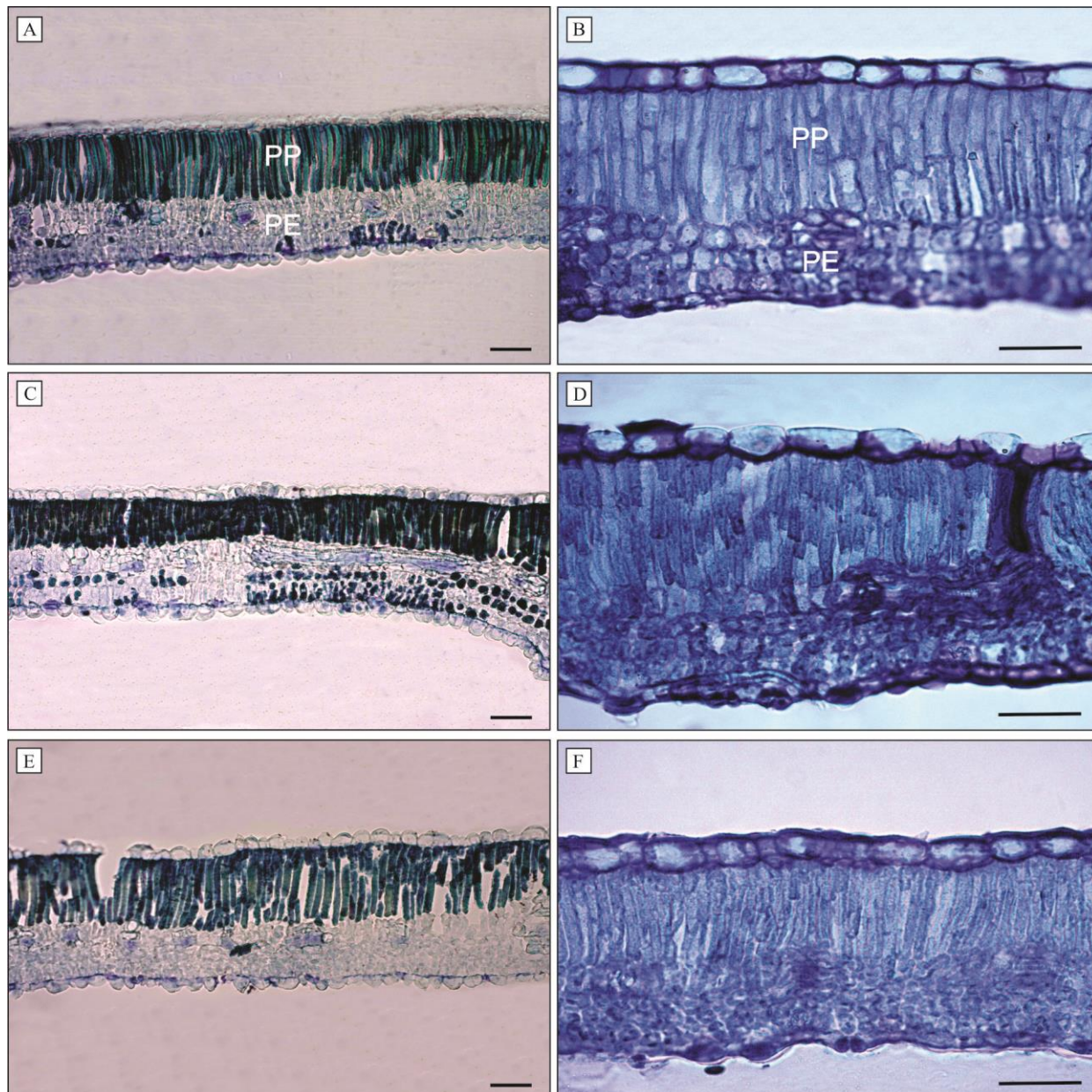


Figura 4 – Características anatômicas do limbo foliar de *Enterolobium contortisiliquum* em diferentes áreas. A – Área 1/ B – Área 2/ C – Área 3. Características anatômicas do limbo foliar de *Myracrodruon urundeuva* em diferentes áreas. B – Área 1/ D – Área 2/ F – Área 3. PP (parênquima paliádico) / PE (parênquima esponjoso). Barras: 50 μ m.



Características anatômicas quantitativas das folhas nas diferentes áreas

Em *E. contortisiliquum*, determinadas características anatômicas não apresentaram diferenças significativas em relação a presença da poeira de cimento nas folhas coletadas em diferentes distâncias da portaria da siderúrgica. As folhas das áreas 1, 2 e 3 foram consideradas estatisticamente iguais para o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, espessuras da epiderme na face abaxial, do parênquima esponjoso, do limbo foliar e para a proporção do xilema em relação à nervura central.

Porém, as variáveis densidade estomática (DE) e espessura do parênquima paliçádico foram menores nas folhas das áreas 2 e 3 (Figura 4 – C e E / Figura 5 – A e D), enquanto as espessuras da cutícula e da epiderme na face adaxial (Figura 4 – B e C) apresentaram menores médias nas folhas da área 1. O índice estomático (IE) foi maior nas folhas da área 3 (Figura 5 – E).

Em *M. urundeuva*, pôde-se observar uma maior quantidade de variáveis com diferenças estatísticas. A DE foi menor nas folhas da área 2 (Figura 6 – A), enquanto os diâmetros polar e equatorial dos estômatos foram maiores nas folhas desta área (Figura 6 – B e G). As espessuras da cutícula (Figura 6 - C), da epiderme nas faces adaxial e abaxial (Figura 4 – D e E) e a proporção de xilema no feixe vascular da nervura central (Figura 6 - F), apresentaram médias maiores nas folhas da área 3.

Figura 5 – Características anatómicas de folhas de *Enterolobium contortisiliquum* coletadas nas diferentes áreas. A - Densidade estomática/ B - Cutícula/ C - Epiderme Adaxial / D - Parênquima Paliçádico/ E - Índice estomático. As barras indicam o erro padrão.

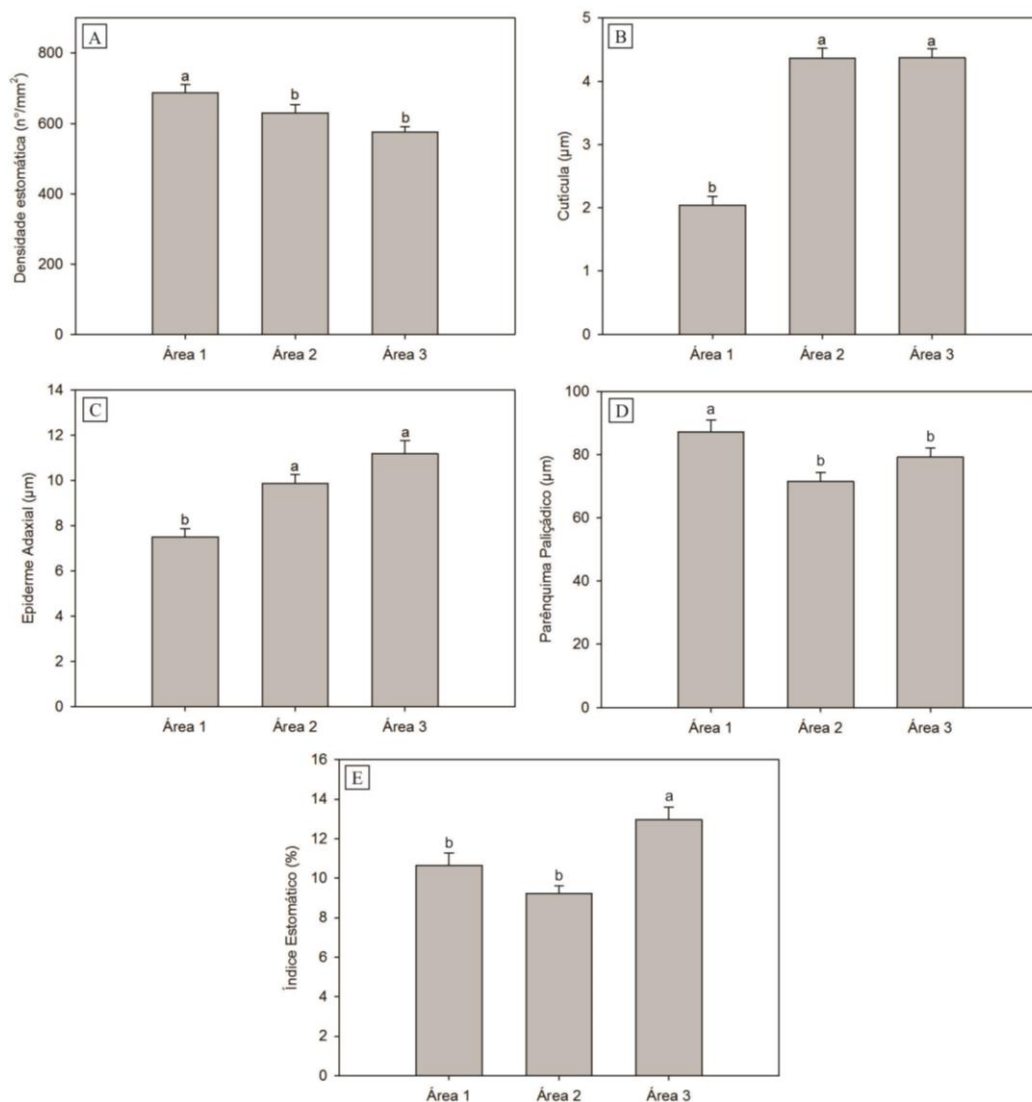
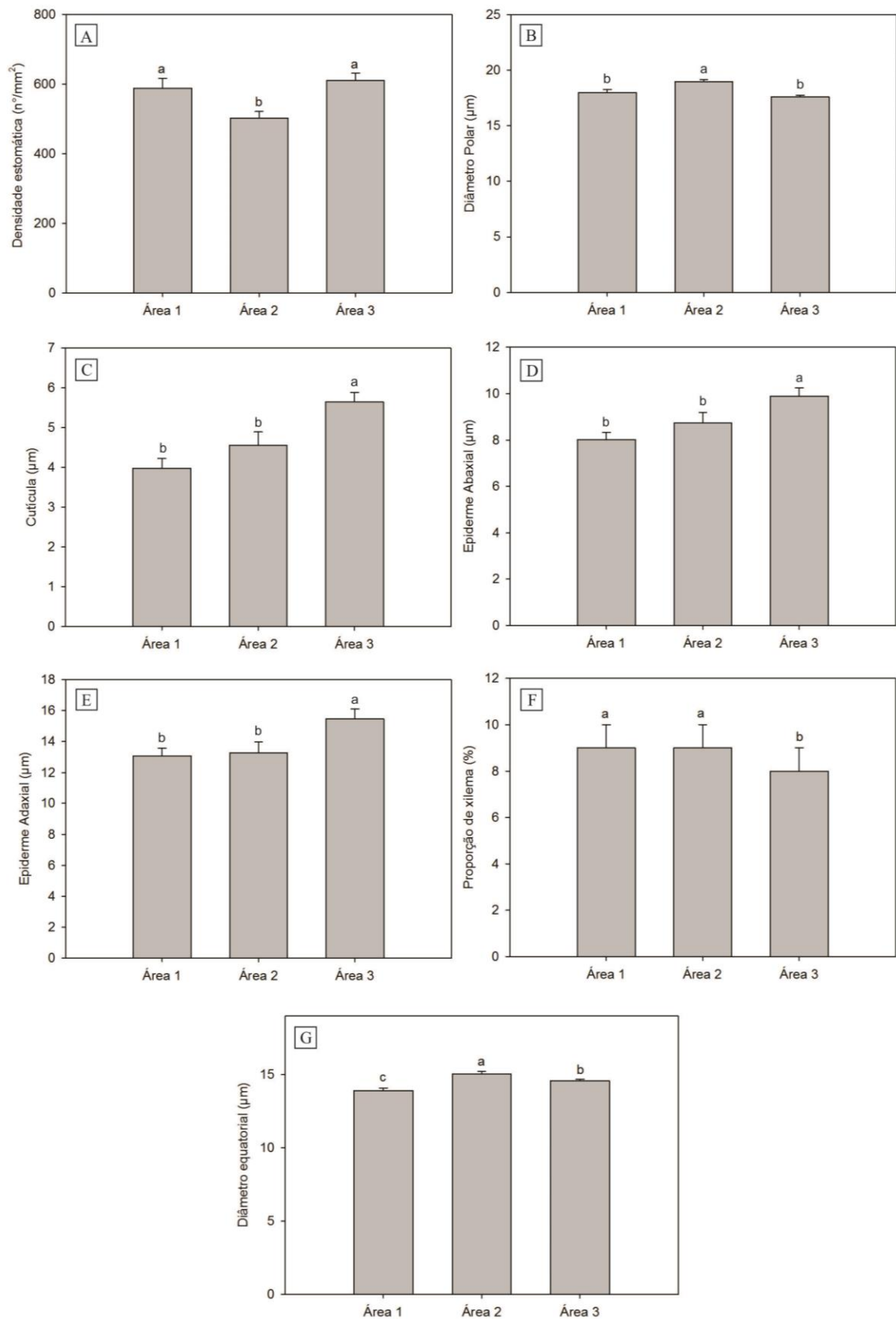


Figura 6 – Características anatômicas de folhas de *Myracrodruon urundeuva* coletadas nas diferentes áreas. A - Densidade estomática/ B – Diâmetro Polar/ C - Cutícula / D – Epiderme Abaxial/ E – Epiderme Adaxial/ F – Proporção de Xilema/ G – Diâmetro equatorial. As barras indicam o erro padrão.



Características de trocas gasosas

A deposição da poeira de cimento sobre as folhas de *E. contortisiliquum* não provocou alterações na transpiração (E), fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA), sendo consideradas estatisticamente iguais para as 3 áreas em questão. Havendo diferença apenas em relação à concentração de carbono intercelular (Ci) (Figura 7), sendo este, menor na área 3, o que pode-se relacionar ao fato de o IE ter sido maior na área 3.

Por outro lado, para *M. urundeuva*, a deposição por poeira provocou alterações na A (Figura 8 – A), E (Figura 8 – B) e na gs (Figura 8 - C). Onde foi observado que a A e gs foram maiores e estatisticamente iguais nas folhas das áreas 1 e 3, enquanto a E foi maior nas folhas da área 3, seguida pelas médias da área 1 e 2, respectivamente.

Figura 7 – Concentração de carbono intercelular em folhas de *Enterolobium contortisiliquum* nas diferentes áreas. As barras indicam o erro padrão.

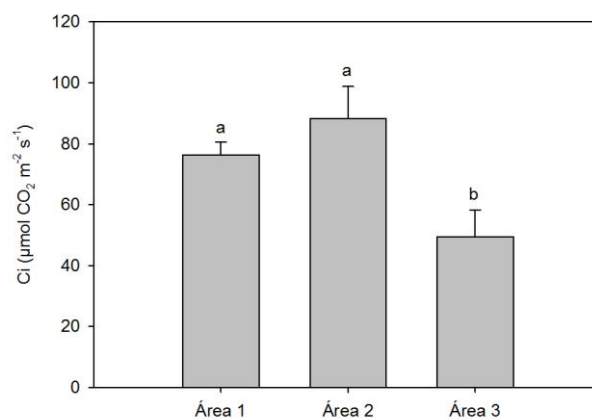
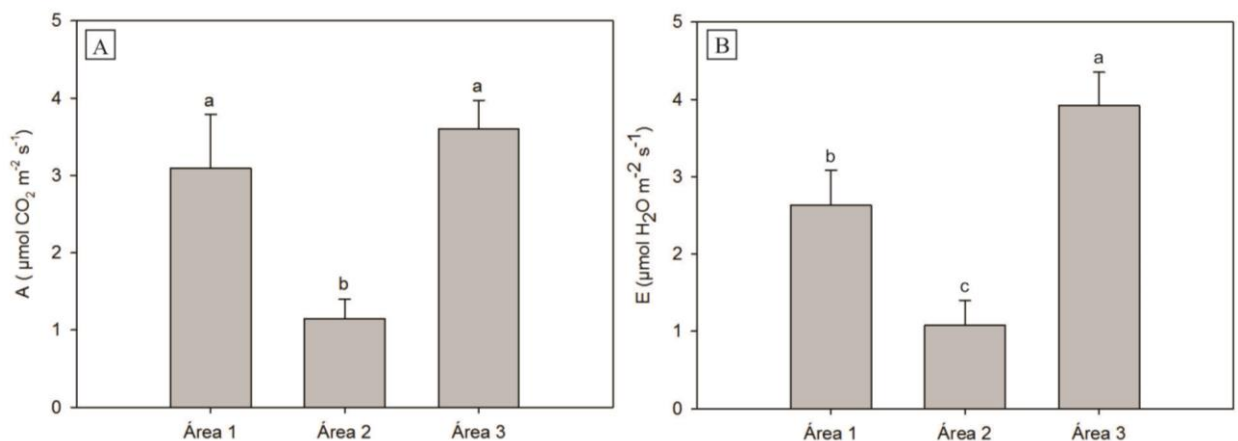
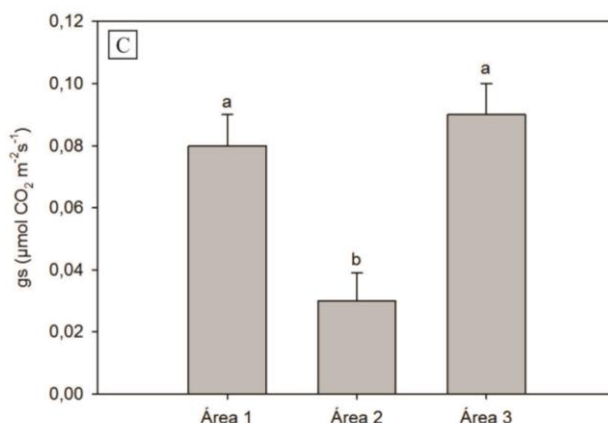


Figura 8 – Características de trocas gasosas em folhas de *Myracrodruon urundeuva* nas diferentes áreas. A - Fotossíntese/ B – Transpiração/ C – Condutância estomática. As barras indicam o erro padrão

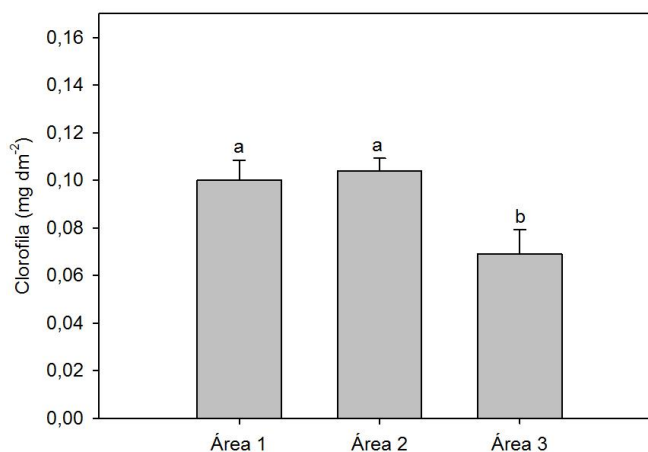




Área foliar específica e teor de clorofila

A área foliar específica de *E. contortisiliquum* foi considerada igual estatisticamente para as três áreas. Em relação ao teor de clorofila (Figura 9), a deposição por poeira de cimento pode ter provocado modificações, evidenciando uma menor média nas folhas da área 3, onde também observou-se a menor média na espessura do parênquima paliádico. Em contrapartida, a espécie de *M. urundeuva*, não apresentou diferença significativa nos valores em nenhuma destas variáveis analisadas, sendo a área foliar específica e o teor de clorofila, iguais estatisticamente nas três áreas.

Figura 9 - Teor de clorofila em folhas de *Enterolobium contortisiliquum* nas diferentes áreas - Teor de Clorofila. As barras indicam o erro padrão.



DISCUSSÃO

A alcalinidade da poeira de cimento e a formação da crosta na superfície foliar contribuem para impedir ou reduzir a solubilidade e absorção dos nutrientes pelas folhas (EICHERT & FERNÁNDEZ, 2012). Isso pode explicar a ausência de modificação na absorção foliar dos componentes minerais presentes na poeira de cimento, como o caso do Fe e Ca, nutrientes com alta concentração nas poeiras de cimento. Por outro lado, em estudos realizados por Siqueira - Silva (2016), para as espécies de *G. ulmifolia*, *M. urundeuva* e *T. hirta* foi verificado que a exposição à poeira de cimento provocou alterações na composição mineral (N, Ca, Mg, S, Fe, B, Mn, Zn e Cu) dos folíolos, com exceção para os elementos K e P.

A poeira de cimento apresenta uma variedade de elementos químicos, porém, estes estão em uma forma oxidada (MANDRE & KORSJUKOV, 2007), não biodisponível, o que pode contribuir em absorção mínima pelas plantas. Somado a este fato, em solos com pH elevado, muitos nutrientes tornam-se indisponíveis para as espécies que crescem nestes ambientes (MANDRE & TUULMETS, 1997), podendo ser o caso das áreas analisadas que apresentaram pH médio de 7,3.

Plantas que crescem em solos com pH acima de 7, comumente apresentam deficiência nutricional de Fe (GEORGE et al., 2012), contudo, não foi o observado para as três espécies em questão. Os resultados das análises do solo mostraram similaridade nos valores de pH e nas concentrações de nutrientes entre os diferentes ambientes, como o encontrado por Siqueira - Silva (2016). Portanto, aparentemente, não está havendo deposição da poeira de cimento no solo ou influência dele na composição de nutrientes neste estudo.

As características estomáticas observadas em *E. contortisiliquum* estão de acordo com Arambarri et al, (2006). Além disso, junto aos estômatos há a presença de uma ou duas papilas com aspecto arredondado (Figura 3 – A, B e C), semelhante ao encontrado na espécie *Spartina densiflora* Brong. (Poaceae), onde células estomáticas da epiderme adaxial são recobertas por papilas epidérmicas simples das células subsidiárias (PINHEIRO, 1991). Segundo este autor, papilas epidérmicas nas células subsidiárias formariam verdadeiras câmaras, protegendo os estômatos contra a dessecação. Esse mesmo fato também foi observado por Hansen et al. (1976) para *Distichlis spicata* L. Greene (Poaceae) e, pode ser o caso das estruturas observadas em *E. contortisiliquum*.

No caso de *M. urundeuva*, segundo Lorenzi (1998), Lorenzi e Matos (2008), há presença de tricomas tectores, pluricelulares, constituídos de três a seis células em fileira única, com paredes espessadas e revestidas de cutícula granulosa, porém estes não foram observados neste estudo. O folíolo apresentou epiderme unisseriada (Figura 6 – A, B e C), estando de acordo com Lorenzi (1998); Lorenzi e Matos (2008).

Em relação às áreas de estudo, a maior DE e espessura do parênquima paliçádico em folhas de *E. contortisiliquum* na área 1 podem ser explicadas pelo fato de ser uma área mais próxima à portaria da indústria de cimento e que, teoricamente, recebe maior deposição de poeira, embora seja uma região de mata fechada. De acordo com Gostin (2009), há um aumento da DE nas folhas em locais poluídos e essa deposição da poeira de cimento, poderia afetar os processos de trocas gasosas. No entanto, as características anatômicas observadas podem ter permitido a manutenção da taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água observada neste estudo. De modo semelhante, Siqueira - Silva et al. (2016) não observou redução na A e na gs, nas condições de sombreamento impostas pela poeira de cimento depositada na superfície foliar de *Guazuma ulmifolia*, *Tricyrtis hirta*, e *M. urundeuva*. Para estes autores, isso indica que a disponibilidade de luz não foi um fator limitante.

Além disso, a menor concentração de carbono intercelular observada em folhas *E. contortisiliquum* na área 3 não influenciaram a fotossíntese. A localização dos estômatos nesta espécie, principalmente na face abaxial da lâmina foliar pode ter contribuído para a redução de danos estruturais e menor obliteração do poro estomático pela poeira e consequentemente, constância nas variáveis de trocas gasosas.

De modo distinto, observou-se maiores modificações estomáticas em *M. urundeuva* que também podem ser relacionadas às respostas de trocas gasosas observadas nesta espécie. Neste caso, a DE, menor na área 2, pode ser compensada pela presença de estômatos maiores. No entanto, as variáveis A, E e gs foram menores nas folhas das plantas desta área. A área 2, apesar de mais distante da fábrica em comparação à área 1, é uma região de mata aberta, o que pode favorecer a deposição de poeira de cimento. Segundo El-Khatib et al., (2012), a deposição da poeira de cimento leva a modificação da frequência dos estômatos, sendo este, um mecanismo adaptativo para combater o bloqueio e o bom funcionamento das trocas gasosas e da taxa de transpiração. Além disso, outros estudos envolvendo plantas expostas a poeira de cimento, relataram que houve alterações nas características estomáticas e que esta modificação é uma adaptação necessária em resposta ao estresse destes poluentes (GOSTIN

2009; AYANBAMIJI & OGUNDIPE 2010; AMULYA et al., 2015; SIQUEIRA-SILVA et al., 2016). No entanto, Siqueira - Silva et al. (2016) encontrou resultados divergentes em experimentos realizados em casa de vegetação, onde *M. urundeuva* não apresentou diferenças na fotossíntese. O grau de obstrução dos estômatos também pode afetar gravemente o desempenho da A e da E de acordo com Maletsika et al. (2015), porém, neste estudo não foi observada obstrução dos estômatos em nenhuma das espécies nas áreas analisadas.

As maiores espessuras da epiderme adaxial e da cutícula nas áreas 2 e 3 em folhas de *E. contortisiliquum*, também podem ser uma resposta a presença de poeira de cimento, visto a maior possibilidade de deposição, principalmente, na superfície superior das folhas. Portanto, são áreas em que as folhas podem necessitar de uma maior proteção, como a exercida pela cutícula, que é considerada a primeira linha de defesa das plantas, podendo conferir resistência aos estresses ambientais (PAL et al., 2002). No caso de *M. urundeuva* a maior espessura da epiderme e da cutícula ocorreu apenas nas folhas coletadas na área 3.

Além das modificações anatômicas *E. contortisiliquum* apresentou redução no teor de clorofila. Estudos de Lukjanova et al. (2013), em *Picea abies* (L.) H. Karst. relataram que o teor de clorofila diminuiu após a exposição das plantas ao material particulado emitido pela indústria cimenteira, devido o aumento de danos nas células do mesofilo. Neste estudo, não se observou danos celulares, mas uma redução na espessura do tecido fotossintetizante que compõe o mesofilo desta espécie, o que pode influenciar na quantidade de cloroplastos e, consequentemente, no teor de clorofila. Estas alterações, entretanto, não influenciaram a fotossíntese nas plantas analisadas. Por outro lado, *M. urundeuva* não apresentou alterações na no teor de clorofila, o que pode ser explicado devido a ausência de alterações nas células do mesofilo de folhas coletadas nas três áreas de estudo. Diferente do encontrado em estudos com a espécie de *Datura innoxia* Mill. (Solanaceae), cultivada a diferentes distâncias de uma determinada indústria cimenteira, onde foi observado um decréscimo nos teores de clorofila, estes devido à desaceleração no processo de biossíntese (SALAMA et al., 2011).

As alterações anatômicas observadas em *E. contortisiliquum* são importantes pelo fato da espécie apresentar um crescimento inicial rápido e ser indicada para reflorestamento ambiental em áreas degradadas, sendo considerada uma espécie resistente em ambientes impactados (ARAUJO; SOBRIHO, 2011). Siqueira-Silva et al., (2016) observaram que o exposição da planta ao ambiente poluído por poeira de cimento leva a alteração

morfoanatômica nas folhas de *Cedrela fissilis* tornando-as mais resistente ao poluente, podendo ser este o caso de *E. contortisiliquum*.

Para *M. urundeuva* outros estudos já evidenciaram que as alterações anatômicas, como desenvolvimento de protuberâncias, relevo das células, padrão de deposição de cera epicuticular, obliteração dos estômatos e necrose dos tecidos, foram respostas encontradas devido o estresse provocado pelo contato direto da poeira de cimento com a superfície foliar (MANDRE & LUKJANOVA, 2011; MANDRE et al., 2012; LUKJANOVA et al., 2013). Neste caso, avaliações referentes a estudos morfoanatômicos podem ser utilizadas para abordar a tolerância das espécies ao impacto ambiental na utilização em programas de biomonitoramento e biorremediação (LIZIERI et al. 2012), podendo ser o caso desta espécie.

CONCLUSÃO

As folhas das espécies *E. contortisiliquum* e *M. urundeuva* apresentam modificações anatômicas e de trocas gasosas em relação à poeira de cimento presente nas áreas estudadas, que podem ser influenciadas pelas características inerentes destas áreas.

As modificações observadas podem indicar estratégias que contribuem para tolerância destas espécies à presença da poluição por poeira de cimento nas proximidades da fábrica, sendo consideradas promissoras para estudos de recuperação e reabilitação de áreas impactadas pelas atividades das indústrias.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U. P. et al. **Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach.** J. Ethnopharmacol., Limerick, v. 114, p. 325-354, 2007.
- ALMEIDA, R. O. P. O; SANCHES, L. E. **Revegetação em áreas de mineração: critérios de monitoriamento e avaliação do desempenho.** Revista Árvore. v.29, n.1. p.47-54, p. 48, 2005.
- ALMEIDA S. M. et al. **Approaching PM2.5 and PM2.5-10 source apportionment by mass balance analysis, principal component analysis and particle size distribution.** Sci Total Environ p. 663–674, 2006.
- ALVES, E. et al. **Apostila do Curso Introductório à Microscopia Eletrônica de Varredura e microanálise de raios-x.** Departamento de Fitopatologia. Universidade Federal de Lavras, 2012.
- AMULYA, L., N. K. HEMANTH KUMAR;S. JAGANNATH. **Air pollution on micromorphological and biochemical response of *Taberneamontana divaricata* L. (Gentianales: Apocynaceae) and *Hamelia patens* Jacq. (Gentianales: Rubiaceae).** Braz. J. Bio. Sci., 2015.
- ARAMBARRI, A. M. et al. **Leaf anatomy of medicinal shrubs and trees from Gallery forests of the paranaense province (Argentina).** Part 1. Bol. Soc. Argent. Bot, v. 41, n. 3-4, p. 233-268pp, 2006.
- ARAÚJO, A.P.; SOBRINHO, S. P. **Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos.** Revista Árvore, v.35, n.3, p.581-588, 2011.
- AYANBAMIJI, T. A.; O. T. OGUNDIPE. **Effect of cement dust on the morphology and levels of some metals in *Eleusine indica* L.** Guertn and Sida Acuta Burn F. Bul. Pure App. Sci., 2010.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, p. 305, 2002.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira.** Colombo, EMBRAPA – CNPF, 1994.
- EICHERT, T., FERNÁNDEZ, V. **Uptake and release of elements by leaves and other aerial plant parts,** in: Marschner, P. (Ed.), Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, San Diego, p. 71-84, 2012.
- EL-KHATIB, A. A., D. E. M. **Morpho-Anatomical Characteristics of Olive (*Olea europaea* L.) Trees Leaf as Bio-indicator of Cement Dust Air Pollution in Libya.** Radwan and A. A. Alramah-Said, J. Env. Studies, 2012.

EMBRAPA - **AGÊNCIA EMBRAPA TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

FARMER, A. M. **The effects of dust on vegetation – a review**. Environmental Pollution 79, p. 63-75, 1993.

FEDER, N.; O'BRIEN, T. P. **Plant microtechnique: some principles and new methods**. American Journal of Botany, Columbus, v. 55, p. 123-142, 1968.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. Ciência e. Agrotecnologia [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FRAGOSO, D. G. C., et al. **Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1: 100.000), MG: Registro deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco**. Revista Geonomos, v. 19, n. 1, 2013.

GEORGE, E., HORST, W.J., NEUMANN, E.. **Adaptation of plants to adverse chemical soil conditions**, in: Marschner, P. (Ed.), Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, San Diego, p. 409-472, 2012.

GOSTIN, I. N.. **Air Pollution Effects on the Leaf Structure of some Fabaceae Species**. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj, 2009.

GRANTZ, D. A., GARNER, J. H. B., JOHNSON, D.W. **Ecological effects of particulate matter**. Environment International v.29, p. 213-239, 2003.

GUIMARÃES, A. E. N. et al. **Análise para recuperação de uma área degradada, na micro bacia do ribeirão Taquaruçu – palmas - TO**. Faculdade Católica do Tocantins. p.14, 2009.

HANSEN, D. J. et al. **Ecological adaptations of salt marsh grass, *Distichlis spicata* (Granimeae), and environmental factors affecting its growth and distribution**. Amer. J. Bot. p. 635-650, 1976.

HUNT, R. et al. **A modern tool for classical plant growth analysis**. Annals of Botany, London, v. 90, p. 485-488, 2002.

INOUE, M. T. **Teor de clorofila de seis espécies arbóreas sob influência da poeira de cimento**. Floresta, v. 40, n. 2, 2010.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. 2nd ed. New York: Mc-Graw-Hill, p. 523p, 1940.

LIZIERI, C., KUKI, K. N., AGUIAR, R. **The morphophysiological responses of free-floating aquatic macrophytes to a supra-optimal supply of manganese**. Water, Air and Soil Pollution v.223, p. 2807-2820, 2012.

LOPES, J. N. **Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais**. 1995.

LOPES, T. L. **Técnicas utilizadas na recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de calcário no município de Caçapava do Sul-RS.** 2016.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Instituto Plantarum, São Paulo, 1998.

LORENZI, H., MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas.** Instituto Plantarum, São Paulo, p. 544, 2008.

LUKJANOVA A., MANDRE M., SAARMAN G. **Impact of alkalization of the soil on the anatomy of Norway spruce (*Picea abies*) needles.** Water Air Soil Pollut, p. 224:1620, 2013.

MACEDO, M.; FERREIRA, A. R. **Plantas medicinais usadas para tratamentos dermatológicos, em comunidades da Bacia do Alto Paraguai, Mato Grosso.** Rev. Bras. Farmacogn. João Pessoa, v. 14, supl. 01, p. 40-44, 2004.

MALETSIKA P. A., NANOS G. D., STAVROULAKIS G. G. **Peach leaf responses to soil and cement dust pollution.** Environ Sci Pollut Res, p. 15952–15960, 2015.

MANDRE, M.; TUULMETS, L. **Pigment changes in Norway spruce induced by dust pollution.** Water, Air, and Soil Pollution, v. 94, n. 3-4, p. 247-258, 1997.

MANDRE, M.; KORSJUKOV, R. **The quality of stemwood of *Pinus sylvestris* in an alkalisied environment.** Water, air, and soil pollution, v. 182, n. 1-4, p. 163-172, 2007.

MANDRE M., LUKJANOVA A. **Biochemical and structural characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in an alkaline environment.** Estonian J Ecol, p. 264–283, 2011.

MANDRE M. et al. **Hybrid aspens responses to alkalisiation of soil: growth, leaf structure, photosynthetic rate and carbohydrates.** Trees Struct Funct p. 1847–1858, 2012.

MARINHO, M. L., et al. **A utilização de plantas medicinais em medicina veterinária: um resgate do saber popular.** Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v. 9, n. 3, p. 64-69, 2007.

OGUNKUNLE, C. O.; ABDULRAHAMAN, A. A.; FATOBA, P. O. **Influence of cement dust pollution on leaf epidermal features of *Pennisetum purpureum* and *Sida acuta*.** Environmental and Experimental Biology, v. 11, p. 73-79, 2013.

PAL, A. et al. **Do leaf surface characters play a role in plant resistance to auto-exhaust pollution?**, Flora, 2002.

PINHEIRO, F. **Aspectos anatômicos e adaptativos das partes vegetativas de *Spartina densiflora* brong. (gramineae) da marisma do estuário da lagoa dos Patos-rs.** Acta bot. bras, v. 5, p. 2, 1991.

RADAM BRASIL. **Levantamentode recursos Naturais.** MME/SG. Folhas Sf 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória – v.32, p.775, 1983.

RODRIGUES, F. A., JOEKES, I. **Cement industry: sustainability, challenges and perspectives.** Environmental Chemistry Letters 9, 151-166, 2011.

SALAMA, H. M. H., AL-RUMAIH, M. M., AL-DOSARY, M. A.. **Effects of Riyadh cement industry pollutions on some physiological and morphological factors of *Datura inoxia* Mill. plant.** Saudi Journal of Biological Sciences 18, p. 227-237, 2011.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. **Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell.(Meliaceae): A potential bioindicator species.** Chemosphere, v. 158, p. 56-65, 2016.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual de 2013.** Disponível em: <<http://www.snic.org.br>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

URURAHY, J.C.C. et al. **Vegetação.** In: Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Folha SF. p. 23-24, 1983.

ZHU J., TREMBLAY T., LIANG Y. **Comparing SPAD and at LEAF values for chlorophyll assessment in crop species.** Can. J. Soil Sci. 92, 2012.