

DANIEL RODRIGUES DA SILVA

**EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DE IPATINGA - MG SOBRE
Joannesia princeps VELL. (EUPHORBIACEAE) COM ÊNFASE NOS
NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

S586e
2015
Silva, Daniel Rodrigues da, 1991-
Efeitos da poluição atmosférica de Ipatinga - MG sobre
Joannesia princeps VELL. (Euphorbiaceae) com ênfase nos
nectários extraflorais / Daniel Rodrigues da Silva. – Viçosa, MG,
2015.

xiv, 66f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Luzimar Campos da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.54-63.

1. *Joannesia princeps*. 2. Plantas - Efeito da poluição do
ar. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Biologia Vegetal. Programa de Pós-graduação em Botânica.
II. Título.

CDD 22. ed. 583.69

DANIEL RODRIGUES DA SILVA

**EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DE IPATINGA - MG SOBRE
Joannesia princeps VELL. (EUPHORBIACEAE) COM ÊNFASE NOS
NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de agosto de 2015.

Silvia Ribeiro de Souza

Cléberson Ribeiro

Luzimar Campos da Silva
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe Fátima, ao meu pai José Gomes, à minha vó Dona Clara ao restante da minha família, aos meus amigos e professores de Viçosa, Ubá e Guidoal e às cabeças pensantes por traz desse trabalho.

***“Não sei onde estou indo
Só sei que não estou perdido
Aprendi a viver um dia de cada vez”
(Só por hoje – Legião Urbana)***

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio e suporte dado durante todos esses anos e pela compreensão da minha ausência durante todo esse período e em especial à minha vó dona clara a pessoa mais importante desse mundo para mim!

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal de Viçosa, à Capes, ao Sisbiota e ao PNADB pela oportunidade e suporte financeiro para realizar esse trabalho.

À minha orientadora, professora Luzimar Campos da Silva, que aceitou o desafio de orientar um até então ilustre desconhecido e inexperiente recém graduado. Obrigado pela confiança, pelo acolhimento, pelos ensinamentos, “puxões de orelha” sempre pertinentes e pelas boas festas em sua casa onde sempre fui muito bem recebido. Agradeço também ao grande Alvinho pela amizade e por sempre nos receber bem na sua casa, sempre com os papos mais cabeças que se pode imaginar!

À equipe do setor de pesquisa da USIMINAS - Ipatinga, Monica, Luciana, Canedo que sempre auxiliava repondo a água das plantas e em especial ao Wilton Pacheco que sempre acreditou no nosso trabalho e participou ativamente do desenvolvimento e execução do trabalho na parte de campo, de modo que sem a participação dessa equipe citada seria impossível a realização do trabalho tal qual como foi. À Julia da prefeitura de Ipatinga pela ajuda e pelo direcionamento para que o trabalho pudesse seguir em Ipatinga. Agradeço ao Paulo pelo acolhimento na república de Ipatinga e aos funcionários do PERD, em especial à Mirlaine pela ajuda na realização do trabalho!

Agradeço à professora Marisa Domingos e Silvia Ribeiro do Instituto de Botânica de São Paulo por receberem muito bem a delegação de Viçosa no Workshop e por sempre serem parceiras importantes nos nossos trabalhos.

Ao professor Wagner Araújo, da Fisiologia Vegetal, por disponibilizar espaço na Unidade de Crescimento de Plantas (UCP), onde parte desse trabalho foi desenvolvido e ao Rogério Gomide funcionário da UCP, que sempre que necessário, me ajudaram de alguma forma.

Aos funcionários do Núcleo de Microscopia e Microanálises da UFV, Gilmar, Carlota, Carla, Rosângela e Lorenzo pelo auxílio com as análises do material em microscopia eletrônica de varredura.

Aos meus amigos irmãos de república que são mesmo que ser da família Ivanilson (Recife), Álvaro (Colômbia) e Carlos (Mucuri) pela parceria ao longo desses mais de 2 anos, muito obrigado pelos momentos de descontração, apertos, risos, brigas, festas e centenas de casos para contar que serão lembrados para sempre. Como diria o Colômbia: “Tá fácil non Recife” e realmente não foi fácil, mais na convivência com vocês as dificuldades eram amenizadas e por vezes esquecidas. Vocês foram a minha

família em Viçosa e desejo tudo de melhor e sempre que precisarem podem chamar o Guidoal kkkkkkkkkkk

Ao jovem Guilherme pela parceria no trabalho de campo, pelos ensinamentos, momentos engraçados, cafés filosóficos e conversas jogadas fora. Ao jovem Ivan também pela amizade e pelos cafés sempre filosóficos e à integrante feminina do grupo dos jovens Brenda pela amizade e carinho!

Às minhas irmãs de orientação Talita e Larisse pela ajuda na dissertação, amizade, cafés, sextas no Globo Repórter do Brazilca e festas (muito obrigado)!

Agradeço demais à grande “parmerense” craque em histoquímica Andrea pela ajuda e pelas dúvidas tiradas!!

Aos amigos e amigas do grupo Kidsgrama Michele, Jussara, Regiane e Tiago pelas festas, aulas de forró, momentos de descontração. Sentirei muita falta de ir para o forró com vocês. Obrigado mesmo, vocês marcaram a minha etapa aqui em Viçosa e valeu por me ensinarem a dançar forró, hoje sou um renomado professor de forró kkkkkkkkkkkkkkkkk

Às minhas hermanitas muy hermosas Di da Nicarágua, Nata, Lina Ovejita, Lucia y Diana! Gracias por me tornarem muito mais latino americano com suas culturas, comidas, festas e músicas! Gracias por todo e por me ajudarem a reír, bailar y vivir porque la vida es una sola!

Agradeço à minha outra amiga irmã Cacau pela irmandade ao longo desses anos, valeu Cacau, vem pra MG pra gente tomar umas kkkkkkk

Aos amigos da melhor pelada dessa Viçosa que é a pelada CAPES 7 da Fisiologia Vegetal!

Aos amigos, companheiros de disciplina e de departamento Anderson e Tamires, obrigado pela amizade!

À Nívea e Hugo pelos auxílios nas análises e ao Haroldo pela grande contribuição na parte estatística, valeu demais!!

Ao grande Luiz Augusto pela amizade e por me incentivar a entrar na pós-graduação e por me apresentar ao departamento de biologia vegetal, valeu Luiz!!

Agradeço à uma moça muito lindinha de Ubá (Camilinha) pela amizade e por sempre estar disposta a conversar comigo e de alguma forma me ajudar a distrair e sair um pouco dessa rotina as vezes estressante

Ao primo Cléver também pela parceria e os altos papos que me ajudaram a distrair um pouco do estresse da pós-graduação!

Agradeço aos Mocarongos amigos irmãos de Guidoal Junin, Sgt Odiel, João Vitor e Rosembergue e Betin pela parceria e amizade ao longo desses anos! Agradeço aos MÁQUINAS da Uemg - Ubá pela amizade verdadeira ao longo desses anos! Aos

professores e funcionários da Uemg - Ubá pelos ensinamentos e pela ajuda nos momentos de crise.

À Angela e sua família, pelas ajudas sempre frequentes, obrigado vocês também são da família! À minha amiga irmã Ana Gabriela e minha sobrinha Rafa pela amizade sempre sincera e verdadeira. A Ana só tem que mudar de time, o resto tá tudo certo kkkkkkk. Ao grande parça de Guidoival Marcos Jr. "Master Tifi" pela amizade, games, animes e tudo mais da cultura nerd kkkkkkkkk Valeu amigo!

À jovem nerd mais bonita de Viçosa e de Monsclaro Diva Ane pela companhia nos eventos nerds que essa Viçosa oferece, valeu demais Diva!

À galera da família do norte de Minas, Mossssssss vocês são massa demais o único defeito é não torcerem para o galo. À família de São Paulo em especial pra tia Lourdes e Cláudio, Cristina e Cristiane, Paulo, Pedro, Yara, Ana Cláudia e pra família de Pernambuco também pela força e apoio!

Aos amigos e amigas do laboratório de anatomia vegetal pela companhia e ajuda! Agradeço às técnicas Patrícia e Aurora que são as engrenagens mestras desse laboratório! À amiga deputada Luana que é mesmo que ser da família, à Carol, Lays, Samara, Ana Paula, Katiuscia, Valéria e Izabel. Ao casal Eliza e Tica meus irmãos de orientação também, obrigado por tudo!

À professora Aristeia por seus ensinamentos, por sempre nos receber bem no seu sítio nas festas e por ser um exemplo de profissionalismo e amor à nossa amada botânica.

Aos amigos e amigas da ecologia e sistemática vegetal e professores da botânica pelos ensinamentos, e ao Ângelo por sempre nos atender bem e resolver os nossos problemas na secretaria, valeu demais!

BIOGRAFIA

Daniel Rodrigues da Silva, filho de José Gomes da Silva e Maria de Fátima Rodrigues da Silva, nasceu em Mauá / SP, em 18 de maio de 1991. cursou o ensino médio na Escola Estadual Mariana de Paiva em Guidoal - MG, concluindo em 2008. Ingressou na Universidade do Estado de Minas Gerais - Campus Ubá em fevereiro de 2009, onde concluiu o curso de licenciatura plena em Ciências Biológicas, quatro anos mais tarde. Em abril de 2013 iniciou o Mestrado em Botânica, pelo Departamento de Biologia Vegetal na Universidade Federal de Viçosa, concluindo o curso com a defesa da dissertação intitulada “Efeitos da poluição atmosférica de Ipatinga - MG sobre *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae) com ênfase nos nectários extraflorais”, em 31 de agosto de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. OBJETIVO GERAL.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Obtenção do material vegetal	6
3.2. Exposição das plantas.....	6
3.3. Dados de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia	7
3.4. Determinação da deposição de material particulado sobre as folhas.....	7
3.5. Sintomatologia foliar, análise anatômica e micromorfológica dos nectários extraflorais.....	8
3.6. Análise histoquímica dos nectários extraflorais de <i>J. princeps</i>	9
3.7. Teores de macronutrientes e micronutrientes no substrato de cultivo	9
3.8. Teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de <i>J. princeps</i>	9
3.9. Índice SPAD	10
3.10. Análises estatísticas	10
4. RESULTADOS	10
4.1. Meteorologia e direção do vento.....	10
4.2. Qualidade do ar	13
4.3. Determinação da deposição de material particulado sobre as folhas de <i>J. princeps</i>	20
4.4. Sintomatologia foliar	20
4.5. Localização, morfologia, anatomia, histoquímica e micromorfologia dos nectários	21
4.6. Caracterização ultraestrutural dos nectários de <i>J. princeps</i>	22
4.7. Teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de <i>J. princeps</i>	22
4.8. Índice SPAD	23
5. DISCUSSÃO.....	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
7. ANEXOS.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ANOVA - Análise de Variância

B - Benzeno

BTEXN - Benzeno, Tolueno, Etil Benzeno, Xilenos e Naftaleno

C₂H₆ - Etano

CH₄ - Metano

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

DBV - UFV – Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa

DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado

EB - Etil benzeno

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

H₂S - Sulfeto de Hidrogênio

HCnM - Hidrocarbonetos não Metânicos

HPAs - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

HT - Hidrocarbonetos Totais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF - MG – Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

M - X e P - X - Meta Xileno e Para Xileno

Mbar - Milibar

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

µg/m³ - Microgramas por metro cúbico

MP - Material Particulado

MP10 - Material Particulado menor que 10 µm

MP2,5 - Material Particulado menor que 2,5 µm

N - Naftaleno

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NE - Nordeste

NEFs - Nectários Extraflorais

NNE - Norte - Nordeste

NO_x - Óxidos de Nitrogênio

O - X - Orto - Xileno

OMS - Organização Mundial da Saúde

PA - Pressão Atmosférica

PAS - Periodic Acid-Schiff
PCDs - Plataformas de Coleta de Dados
PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado
PERD - Parque Estadual do Rio Doce
PIAVT - Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal
PP - Precipitação Pluviométrica
ppb - Partes por Bilhão
PTS - Partículas Totais em Suspensão
RAMQAM - Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia
RMVA - Região Metropolitana do Vale do Aço
RS - Radiação Solar
SINDA - Sistema Integrado de Dados Ambientais
Sisbiota - Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade
SO_x - Óxidos de Enxofre
SPAD - Soil Plant Analysis Development
T - Tolueno
UCP - Unidade de Crescimento de Plantas
UR - Umidade Relativa
USIMINAS - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais
W/m² - Watts por metro quadrado
WHO - World Health Organization
WRPLOT - Wind Rose Plots
XP - Xilidine Ponceau

RESUMO

SILVA, Daniel Rodrigues da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2015. **Efeitos da poluição atmosférica de Ipatinga - MG sobre *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae) com ênfase nos nectários extraflorais.** Orientadora: Luzimar Campos da Silva.

A cidade de Ipatinga, Minas Gerais possui uma indústria siderúrgica e uma grande frota circulante de veículos que aumenta a emissão de poluentes atmosféricos, que constituem fatores de risco à saúde humana, além de comprometem a qualidade da vegetação. Objetivou-se avaliar a composição da atmosfera na cidade de Ipatinga, bem como os efeitos anatômicos e histoquímicos nos nectários extraflorais (NEFs) de *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae), os teores de macro, micronutriente e metais pesados em folhas, determinar os níveis de deposição particulada sobre as folhas e avaliar a cor verde das folhas de plantas expostas à campo utilizando o SPAD. Mudanças de *J. princeps* foram dispostas em estantes de exposição colocadas dentro da área cercada de cada estação da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM) de Ipatinga, nos bairros Bom Retiro, Cariru, Cidade Nobre e Veneza e uma estante de referência foi montada no Parque Estadual do Rio Doce (PERD). O experimento teve duração de 126 dias. Foi coletado o material particulado depositado nas folhas e a sintomatologia foi avaliada mensalmente. Para a análise anatômica e histoquímica, foram coletados NEFs do primeiro ao quarto nó da base e ápice peciolar. Foram realizados os seguintes testes histoquímicos: Reação com ácido periódico - reagente de Schiff (PAS), Xilidine Ponceau, Sudan Black B e Cloreto Férrico. Foi procedida a quantificação de macro, micronutrientes e metais pesados na matéria seca de folhas coletadas ao fim do período de exposição. O índice SPAD foi determinado em folhas marcadas. O mês com a maior temperatura e precipitação pluviométrica foi fevereiro e as maiores médias de temperatura, foram registradas nos bairros Cidade Nobre e Veneza. Ventos vindos de norte nordeste (NNE) e nordeste (NE) predominaram em todos os bairros. No bairro Bom Retiro, observou-se as maiores médias mensais, horárias e ocorrência de registros de níveis de ozônio acima do ideal para a vegetação. Nesse bairro, foi registrado as maiores concentrações de precursores nitrogenados e sulfurados de ozônio. Quanto aos poluentes hidrocarbonetos, percebeu-se que as maiores médias de concentração da maioria desses poluentes foram encontrados nos bairros Cidade Nobre e Veneza. As plantas expostas no bairro Cariru, receberam maior deposição particulada e no bairro Cidade Nobre e PERD, a deposição foliar de particulado foi menor. No bairro Cariru, foram observadas mais lesões foliares e no PERD, menos lesões foliares em plantas de *J. princeps*. Quanto aos danos anatômicos nos NEFs, observou-se necroses nos tecidos, formação de tecido de

cicatrização e hiperplasia de células. Nos NEFs de plantas expostas na cidade de Ipatinga, os danos superficiais foram mais intensos. Já no PERD, os NEFs apresentaram aspecto sadio. Em plantas expostas no bairro Cariru, observou-se que células do parênquima nectarífero dos NEFs reagiram negativamente ao teste com XP e para o teste com Sudan Black B, as células do parênquima nectarífero e epiderme secretora apresentaram colorações tênues. Altos teores de cromo e alumínio foram observados em folhas de plantas expostas na cidade de Ipatinga. Conclui-se que a vegetação na cidade de Ipatinga é impactada pela poluição atmosférica da indústria siderúrgica, pelo aterro sanitário do Vale do Aço, pela fábrica de celulose de Belo Oriente e pelo tráfego de veículos local. No PERD, a vegetação nativa sofre menos impactos relacionados à poluição atmosférica. A espécie *J. princeps* pode ser utilizada como bioindicadora e biomonitora de ambientes poluídos e sugerem-se mais estudos abrangendo períodos maiores de tempo para se avaliar o comportamento da espécie durante a variação sazonal de poluentes na atmosfera de Ipatinga.

ABSTRACT

SILVA, Daniel Rodrigues da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2015. **Ipatinga's atmospheric pollution effects on *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae) with emphasis on extrafloral nectaries.** Adviser: Luzimar Campos da Silva.

The city of Ipatinga, Minas Gerais has a steel industry and a large current fleet of vehicles that increases the emission of air pollutants, which are risk factors to human health, and furthermore, compromise the vegetation quality. This study aimed to evaluate the composition of the atmosphere in the city of Ipatinga, as well as the anatomical effects and histochemical in extrafloral nectaries (EFN) of *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae), macro levels, and micronutrient heavy metals sheets, determine the particulate deposition levels on the leaves and assess the green color of leaves of plants exposed to the field using the SPAD. *J. princeps* seedlings were placed on display shelves placed inside the fenced area of each station Automatic Network of Air Quality Monitoring and Meteorology (ANAQMM) Ipatinga, in neighborhoods Bom Retiro, Cariru, Cidade Nobre and Veneza and a bookcase reference was set up in the Parque Estadual do Rio Doce (PERD). The experiment lasted 126 days. It was collected particulate material deposited in the leaves and the symptomatology was assessed monthly. For anatomical and histochemical analysis were collected EFN first to fourth node of the base and petiole apex. The following histochemical tests were performed: Reaction with periodic acid - Schiff reagent (PAS), Xilidine Ponceau, Sudan Black B and ferric chloride. It was proceeded the quantification of macro, micro and heavy metals in dry leaves material collected at the end of the exposure period. The SPAD index was determined on marked leaves. The month with the highest temperature and rainfall was February and the highest average temperature, were recorded in the districts Cidade Nobre and Veneza. Winds north northeast (NNE) and east (NE) predominated in all districts. In the neighborhood Bom Retiro, there was the highest monthly and hourly averages and occurrence of ozone levels records above ideal for vegetation. In this neighborhood, it has registered the highest concentrations of nitrogen and sulfur ozone precursors. As for the hydrocarbon pollutants, it was observed that the highest average concentration of most of these pollutants were found in the neighborhoods Cidade Nobre and Veneza. Plants exposed in Cariru neighborhood received more particulate deposition and in Cidade Nobre neighborhood and PERD, leaf deposition of particulate was lower. In the neighborhood Cariru, were observed more foliar injury and in the PERD, less leaf lesions *J. princeps* plants. The anatomical damage in the EFN was observed in tissue necrosis, scar tissue formation and hyperplasia of cells. EFN in plants exposed in the city of Ipatinga, surface damage was more intense. But in the PERD, the EFN showed healthy appearance. In plants exposed in the neighborhood Cariru noted that nectariferous

parenchyma cells of EFN negative reaction to the test pattern XP and for Sudan Black B nectariferous parenchyma cells and secretory epidermis showed a faint staining. High levels of chromium and aluminum were observed in leaves of plants exposed in the city of Ipatinga. We conclude that the vegetation in the city of Ipatinga is impacted by air pollution in the steel industry, the landfill Steel Valley, the Belo Oriente pulp mill and the local vehicle traffic. The PERD, native vegetation suffers less impact related to air pollution. The species *J. princeps* can be used as a bioindicator and biomonitor of polluted environments and are suggested more studies covering longer periods of time to evaluate the kind of behavior during the seasonal variation of pollutants in the atmosphere of Ipatinga.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica que, atualmente, é um problema grave em diversos locais do mundo, é causada predominantemente no ambiente urbano, pela exaustão veicular, industrialização e produção de energia (WHO, 2015). Ela causa prejuízos econômicos, sendo uma das responsáveis pelos declínios florestais e pela perda de produtividade agrícola (CSIRO, 2011). Estima-se que as perdas globais de produtividade agrícola causada pelo ozônio na cultura de trigo variam entre 7 a 12 %, na cultura de soja de 6 a 16 %, de arroz de 3 a 4 % e para o milho de 3 a 5 % (VAN DINGENEN et al., 2009). Além disso, a poluição do ar afeta a saúde da população, sendo ligada a 7 milhões de mortes prematuras por ano em todo o mundo (WHO, 2014) e expõe os recursos naturais (ar, água e solo) e os seres vivos a condições inadequadas (RISTIĆ et al., 2013).

Ipatinga é um município do estado de Minas Gerais, localizado na região leste do estado, e possui 239.468 habitantes, distando cerca de 154 Km da capital Belo Horizonte e faz parte da Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) juntamente com os municípios de Coronel Fabriciano, Timóteo e Santana do Paraíso (IBGE, 2015a; PDDI, 2014). A cidade é economicamente importante para o estado visto que ela é a principal do Vale do Aço mineiro e abriga uma grande usina siderúrgica, que é responsável pela produção de 4,8 toneladas de aço por ano (EPE, 2012). Ipatinga se desenvolveu em função da usina siderúrgica e a crescente urbanização sofrida pela cidade a partir da década de 1970, aliada à intensificação da construção civil e à sua grande frota de veículos (cerca de 136.106 veículos, uma média de quase 1 veículo a cada 2 habitantes) acabam por expor o meio ambiente à um baixo nível de qualidade ambiental (DRUMOND, 2012; IBGE, 2015b).

As emissões atmosféricas oriundas de veículos automotores incluem os seguintes poluentes: óxidos de nitrogênio (NO_x), gerados da combustão incompleta da gasolina e hidrocarbonetos como os compostos orgânicos voláteis - COVs, gerados pela combustão ou pela evaporação da gasolina. Além desses, a literatura relata a presença de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Ni) e de material particulado como as partículas totais em suspensão (PTS) como o MP10 (partículas inaláveis < 10 µm) e MP2,5 (partículas inaláveis < 2,5 µm) oriundas de emissões veiculares (NDIOKWERE, 1984; EPA, 1994, AKPOVETA E OSAKWE, 2014; DALLMANN et al., 2014).

Quanto às emissões atmosféricas da atividade siderúrgica, destacam-se também os precursores de ozônio troposférico, e demais poluentes, que dentre eles estão: óxidos de enxofre (SO_x), sulfeto de hidrogênio (H₂S), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂), metano (CH₄), etano (C₂H₆), material particulado (MP), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e compostos orgânicos voláteis (COVs) e os seguintes metais (Ni, As, Cd, Cr, Cu, Zn, Se, Hg, Rb, W,

Mn, Fe, Mo), dentre outros poluentes (DOUSHANOV, 2004; MILANEZ E PORTO, 2008; CALVO et al., 2013).

A deposição de material particulado nas plantas pode interferir na quantidade de luz incidente sobre a superfície foliar, interferindo na produção de pigmentos fotossintetizantes e conseqüentemente, alterando as taxas fotossintéticas (KUKI et al., 2008; PEREIRA et al., 2009; PRAJAPATI, 2012); pode causar aumento na temperatura foliar, obstrução estomática e interferência nas trocas gasosas (SILVA, et al., 2006). Além disso, o material particulado pode adentrar ao mesofilo, em virtude da erosão da cera epicuticular e ruptura da epiderme, e interferir em mecanismos bioquímicos e fisiológicos das células (SILVA, et al., 2006; PEREIRA et al., 2009; ROCHA et al., 2014).

Quanto aos efeitos das imissões de usinas siderúrgicas em plantas destacam-se os seguintes: interferência no teor de nutrientes das plantas (KUKI et al., 2008), aparecimento de cloroses e necroses foliares (CASTRO, 2008), deposição de material particulado sobre as folhas (SILVA et al., 2006; KUKI et al., 2008; PEREIRA et al., 2009; PRAJAPATI, 2012; ROCHA et al., 2014), modificações anatômicas e ultraestruturais consideráveis aos tecidos foliares (SILVA et al., 2006), alterações fisiológicas (SILVA et al., 2006; KUKI et al., 2008; PEREIRA et al., 2009), dentre outros.

O ozônio (O₃) é um importante gás que forma uma camada na estratosfera e protege a terra da ação deletéria dos raios ultravioleta (NASA, 2013). Ele se torna um problema, quando é formado na troposfera por meio de reações fotoquímicas entre os poluentes primários óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos voláteis que são produzidos por processos naturais ou pela queima de combustíveis fósseis. Esse poluente, pode acarretar severos prejuízos aos seres vivos, visto que, o ozônio é extremamente reativo, causando danos não só à vegetação, mas também provocando irritação da garganta e pulmões, agravamento da asma ou enfisema em seres humanos (WELLBURN, 1988; TRESHOW E ANDERSON, 1989; ASHMORE, 2003; SÃO PAULO, 2011).

Em virtude da problemática relacionada à poluição atmosférica na cidade de Ipatinga, o município implementou a Lei N° 3.279, de 06 de dezembro de 2013, que define parâmetros para o índice de qualidade do ar do município tendo como referência a Organização Mundial de Saúde (OMS) e as normas federais e estaduais vigentes. De acordo com esta lei, a empresa siderúrgica deve monitorar o índice de qualidade do ar e divulgar publicamente esse índice, por meio de painéis eletrônicos em locais de fácil visualização para a população. Assim, para atender a legislação, foi implementada a Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia – RAMQAM que monitora os índices dos seguintes poluentes atmosféricos na cidade: PTS (partículas totais em suspensão), MP10 (partículas inaláveis < 10 µm), MP2,5 (partículas inaláveis < 2,5 µm), SO₂ (dióxido de enxofre), NO_x (óxidos de nitrogênio), NO (monóxido de nitrogênio), NO₂ (dióxido de nitrogênio), CO (monóxido de carbono), O₃ (ozônio),

HCT (hidrocarbonetos totais), CH₄ (metano) e os seguintes COVs (compostos orgânicos voláteis): benzeno, tolueno, etil benzeno, xilenos e naftaleno (BTEXN) e HCnM (hidrocarbonetos não metânicos).

Próximo à cidade de Ipatinga situa-se o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), que segundo o IEF – MG (2014) é a maior área florestal sob proteção legal do estado de Minas Gerais com uma área de 35.974 ha. Ao norte, o PERD faz fronteira com a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) que concentra uma grande população urbana (472.617 habitantes, perfazendo 2,27 % da população do estado de Minas Gerais) e grandes empreendimentos industriais (duas empresas siderúrgicas e uma de produção de celulose branqueada de eucalipto).

Ao redor do PERD, percebem-se grandes áreas reflorestadas com eucalipto utilizadas para suprir a demanda da indústria de celulose da região. Estudos realizados por Castro et al. (1987), mostraram que as precipitações na região industrial do Vale do Rio Doce são de natureza ácida, sendo de grande importância a realização de estudos de monitoramento da qualidade do ar na região próxima ao PERD.

A utilização de bioindicadores vegetais no controle da poluição atmosférica é uma prática relativamente recente (PAULA, 2010). Os bioindicadores, são qualquer forma de vida que, quando utilizados, permitem a avaliação da qualidade ambiental (CETESB, 2015a). Eles podem ser utilizados de forma passiva, ou seja, quando a avaliação acontece nos indivíduos que habitam a área de estudo ou de forma ativa, quando esses indivíduos são expostos ao ambiente de estudo e posteriormente analisados (CETESB, 2015a). Além disso, a vantagem de seu uso em detrimento dos métodos convencionais, reside no fato de que os bioindicadores são fáceis de manipular e cultivar, suas respostas aos poluentes são fáceis de se avaliar, apresentam baixo custo e até podem ser úteis na avaliação de eventos ocorridos em determinados períodos de tempo, resgatando o histórico ambiental do local de estudo (PAULA, 2010; CETESB, 2015a).

Em um trabalho de biomonitoramento ativo, Castro (2008) observou que plantas de *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae) expostas à condição de campo na cidade de Ipatinga, apresentaram cloroses e necroses foliares, bem como danos anatômicos consideráveis. Essa espécie apresenta glândulas na base e ápice peciolar, que são considerados nectários extraflorais (CARVALHO, 2003) mas que não foram estudadas por Castro (2008).

Os nectários são estruturas que possuem tecidos especializados que secretam solução açucarada (néctar) e estão envolvidos em interações com animais, podendo ser encontrados em diversas partes do corpo vegetativo da planta (NICOLSON et al., 2007). O néctar é originado dos fotoassimilados do floema e modificado pelo parênquima nectarífero (NICOLSON et al., 2007). Ele apresenta composição variável, mas seus

principais constituintes são a sacarose, glicose e frutose. A literatura relata ainda, a presença de íons minerais, fosfatos, aminoácidos, proteínas, vitaminas, mucilagens, lipídios, ácidos orgânicos, e alguns tipos de enzimas (FAHN, 1979).

Os nectários extraflorais fornecem néctar rico em carboidratos a formigas e outros artrópodes. Por sua vez, esses animais proporcionam proteção à planta contra herbívoros e parasitas, sendo esse mutualismo inseto - planta ecologicamente importante. Esse mutualismo é produto da coevolução entre plantas e sociedades de insetos, desempenhando um importante papel ao estruturar as comunidades vegetais e animais (HEIL E MCKEY, 2003; MARAZZI et al., 2013).

Embora os nectários extraflorais de *J. princeps* expostos à campo não tenham sido analisados por Castro (2008), estudos que abordem a temática dos efeitos de poluentes atmosféricos com ênfase nos nectários extraflorais são importantes, visto que, a poluição atmosférica urbana e industrial pode alterar a composição do néctar e interferir nessa importante interação ecológica entre plantas e insetos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Verificar os efeitos da poluição atmosférica de Ipatinga, Minas Gerais, em *Joannesia princeps* Vell. (Euphorbiaceae).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a composição da atmosfera da cidade de Ipatinga nos pontos de amostragem a fim de determinar as concentrações dos poluentes atmosféricos;
- Avaliar a influência da poluição atmosférica sobre o teor de macro, micronutrientes, metais pesados e se *J. princeps* acumula algum tipo de elemento em seus tecidos;
- Determinar os níveis de deposição particulada em folhas de *J. princeps*;
- Avaliar a cor verde das folhas de plantas expostas à campo utilizando o SPAD;
- Verificar as prováveis variações anatômicas e histoquímicas nos nectários extraflorais de *J. princeps* expostos à poluição urbana e industrial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção do material vegetal

Mudas de *Joannesia princeps* VELL. (Euphorbiaceae) foram obtidas a partir do viveiro do Instituto Estadual de Florestas (IEF/MG), em Viçosa, Minas Gerais. Estas foram transplantadas para vasos plásticos de 1,7 L, contendo solo e substrato para cultivo de mudas (Bioplant Prata HT, casca de Pinus, da empresa Bioplant) e foram cultivadas em casa de vegetação na Unidade de Crescimento de Plantas da Universidade Federal de Viçosa (UCP – UFV). As mudas receberam aplicação de solução nutritiva de Hoagland (meia força iônica) (HOAGLAND E ARNON, 1950) uma vez por semana e após a aclimação, as plantas foram levadas até os locais de exposição a campo na cidade de Ipatinga e no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais.

3.2. Exposição das plantas

Mudas de *J. princeps*, previamente selecionadas pela padronização da altura, estado fitossanitário e número de folhas, foram colocadas em estantes na cidade de Ipatinga e no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, de acordo com os padrões internacionais de controle da qualidade do ar para bioindicadores (ARNDT E SCHLUTER, 1985).

Foram utilizadas 25 estantes de exposição. Em cada local de exposição foram colocadas 5 estantes. Cada estante, portava 3 vasos, com 1 indivíduo em cada vaso. As plantas foram colocadas em um sistema de irrigação automático, no qual os vasos foram conectados por um pavio a um reservatório de água, segundo modelo apresentado por Arndt e Schweizer (1991). As estantes de exposição foram colocadas dentro da área cercada de cada estação da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM) de Ipatinga, situadas nos seguintes bairros: Bom Retiro (239 m de altitude), Cariru (243 m de altitude), Cidade Nobre (252 m de altitude) e Veneza (262 m de altitude) e uma estante de referência foi montada no viveiro de mudas do Parque Estadual do Rio Doce – PERD (296 m de altitude), que está distante cerca de 28 km em linha reta, da cidade de Ipatinga (Figura 1A - 1C). As plantas permaneceram em condições de campo por um período de 126 dias, de 09 de outubro de 2014 a 11 de fevereiro de 2015. As imagens e os dados de altitude dos locais amostrados, foram obtidos pelo programa Google Earth Pro (versão 7.1.5.1557, da empresa Google).

As avaliações de sintomatologia e índice SPAD foram realizadas mensalmente até o mês de dezembro, já as coletas de nectários para as análises anatômicas foram realizadas 3 vezes nos meses de novembro e dezembro de 2014 e fevereiro de 2015.

A coleta de material particulado foi realizada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

3.3. Dados de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia

Os dados de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia na cidade de Ipatinga foram coletados pela Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM), que é formada por quatro estações móveis automatizadas localizadas nos bairros Bom Retiro, Cariru, Cidade Nobre e Veneza. Essas estações mensuram durante 24 horas por dia a concentração dos seguintes poluentes e parâmetros meteorológicos: PTS (partículas totais em suspensão), MP10 (partículas inaláveis < 10 µm), MP2,5 (partículas inaláveis < 2,5 µm), SO₂ (dióxido de enxofre), NO_x (óxidos de nitrogênio), NO (monóxido de nitrogênio), NO₂ (dióxido de nitrogênio), CO (monóxido de carbono), O₃ (ozônio), HCT (hidrocarbonetos totais), CH₄ (metano), os seguintes COVs (compostos orgânicos voláteis): benzeno, tolueno, etil benzeno, xilenos e naftaleno (BTEXN) e HCnM (hidrocarbonetos não metânicos), direção e velocidade do vento, temperatura do ar, precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e radiação solar global. Os dados coletados pela RAMQAM foram disponibilizados pelo setor de pesquisa da usina siderúrgica.

No PERD só foi possível obter dados meteorológicos provenientes de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) pertencentes ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Essas PCDs monitoraram temperatura do ar, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (SINDA, 2015).

Na análise da direção e velocidade do vento, os dados foram plotados em planilhas do programa Microsoft Excel e as rosas dos ventos indicando a direção e velocidade do vento foram construídas utilizando o programa WRPLOT View (versão 7.0.0, da empresa Lakes Environmental).

3.4. Determinação da deposição de material particulado sobre as folhas

Para a determinação da deposição particulada, folhas de *J. princeps* foram limpas utilizando pincel de cerdas macias de modo que o material particulado foi recolhido por placas de Petri de plástico limpas e pesadas previamente. A área foliar foi tomada em campo, circulando com caneta os limites das folhas sobre um papel branco, e no Laboratório de Ecologia e Evolução de Plantas da UFV os papeis com as áreas foliares circuladas foram medidos utilizando um aparelho fotoelétrico de medição de área foliar (ΔT Delta - T Devices LTD). Foram utilizadas duas folhas por repetição com três repetições por local de exposição nos três períodos de coleta desse índice que foram os seguintes: 02 a 04/12 de 2014, 16 a 17/01/2015 e 10 a 11/02/2015.

3.5. Sintomatologia foliar, análise anatômica e micromorfológica dos nectários extraflorais

O registro da sintomatologia foi realizado 3 vezes, nos seguintes dias: 17 a 21/10/2014, 11 a 14/11/2014, 01 a 04/12/2014 e a aparência e a localização dos sintomas (clorose e necrose) foram registrados com câmera fotográfica. Na análise visual foram considerados o número e o tamanho das manchas necróticas e cloróticas em relação ao tamanho da folha, utilizando a seguinte escala: levemente injuriada (com manchas necróticas e cloróticas esparsas), moderadamente injuriada (com 30 a 50% da área foliar necrosada), muito injuriada (com 50 a 70% da área foliar necrosada) e extremamente injuriada (com mais de 70 % da área foliar necrosada) (SILVA et al., 2000).

Nectários extraflorais do primeiro ao quarto nó, localizados na base e no ápice do pecíolo foram coletados e fixados em Karnovsky (solução de glutaraldeído (2,5 %) e paraformaldeído (4 %) em tampão fosfato de sódio (pH 7,2) acrescido de cloreto de cálcio 5 mM) (KARNOVSKY, 1965), seguido de desidratação em série etílica. Posteriormente, as amostras foram incluídas em metacrilato (Historesin, Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha), seccionadas a aproximadamente 5 µm de espessura, longitudinalmente em micrótomo rotativo de avanço automático Leica RM2265 (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Alemanha), com utilização de navalhas de vidro. Após a microtomia, as secções foram coradas com azul de toluidina (O'BRIEN E McCULLY, 1981) e as lâminas foram montadas em resina sintética (Permout, Fisher Scientific, Pittsburgh, EUA).

Amostras de nectários extraflorais do primeiro ao quarto nó, localizados na base e no ápice do pecíolo foram analisadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), a fim de avaliar possíveis alterações superficiais ocasionadas pela poluição urbana e industrial. Para isto, as amostras foram fixadas em solução de Karnovsky e posteriormente, desidratadas, em série etílica e levadas à secagem ao ponto crítico (BOZZOLA E RUSSEL, 1992), utilizando-se equipamento (modelo CPD030, Bal-TecBalzers, Liechtenstein). Após a montagem das amostras nos suportes ("Stubs"), houve a deposição metálica com ouro (BOZZOLA E RUSSEL, 1992) utilizando-se equipamento Sputter Coater (modelo FDU 010 da Balzers, Liechtenstein). As amostras foram observadas e documentadas em microscópio eletrônico de varredura (modelo Leo 1430VP, Zeiss, Cambridge, Inglaterra).

Para o registro das imagens, as amostras foram fotodocumentadas em microscópio eletrônico de varredura (modelo 1430 VP, LEO, Cambridge, Inglaterra), pertencente ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV.

3.6. Análise histoquímica dos nectários extraflorais de *J. princeps*

Para os testes histoquímicos, os nectários extraflorais do primeiro ao quarto nó do ápice e da base do pecíolo foram coletados e fixados em solução de Karnovsky (KARNOVSKY, 1965). Posteriormente, as amostras foram incluídas em metacrilato (Historesin, Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha) e seccionadas a aproximadamente 5 µm de espessura longitudinalmente em micrótomo rotativo de avanço automático Leica RM2265 (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Alemanha), com a utilização de navalhas de vidro.

Foram realizados os seguintes testes histoquímicos: Reação com ácido periódico - Reagente de Schiff (PAS) com controle adequado, para a detecção de carboidratos totais (O'BRIEN E MCCULLY, 1981); Xilidine Ponceau 1 % pH 2,5 (VIDAL, 1970), para evidenciação de proteínas totais; Sudan Black B (PEARSE, 1980, modificado; BENES, 1964 modificado), para localização de lipídios e Cloreto Férrico (JOHANSEN, 1940) para compostos fenólicos totais.

As lâminas utilizadas na histoquímica foram montadas em resina sintética (Permount, Fisher Scientific, Pittsburgh, EUA). As observações e o registro das imagens foram feitos em fotomicroscópio (modelo AX70TRF, Olympus Optical, Tokyo, Japão) equipado com o sistema Axio Vision (Zeiss), localizado no Laboratório de Anatomia Vegetal (DBV-UFV).

3.7. Teores de macronutrientes e micronutrientes no substrato de cultivo

Para o substrato, utilizou-se para a análise uma amostra coletada diretamente da embalagem, após sua abertura. Foram determinados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, manganês, cobre, bromo, ferro, composto orgânico e teores de umidade e relação carbono / nitrogênio, seguindo métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A análise foi executada no Laboratório de Análise de Solos de Viçosa.

3.8. Teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de *J. princeps*

Amostras de folhas do primeiro ao quarto nó foram coletadas ao fim do experimento e lavadas com água destilada corrente, secas em papel toalha e acondicionadas em envelopes de papel com a devida identificação. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 65°C até atingir peso seco constante. Quantificou-se os seguintes elementos: cálcio, nitrogênio, cobre, ferro, zinco, manganês, cádmio, cromo, níquel, chumbo e alumínio. As análises seguiram os métodos descritos pelo PIAVT (2015). A análise foi executada no laboratório de Análise de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

3.9. Índice SPAD

O índice SPAD foi determinado por meio do medidor portátil SPAD - 502 (Soil Plant Analysis Development) que permite avaliar, quantitativamente, a intensidade do verde da folha *in situ*, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que é correlacionado com o teor de clorofila da folha (MARKWELL et al., 1995; GUIMARÃES et al., 1999). Para a determinação do índice SPAD foi lido 1 folíolo por folha e 3 folhas por repetição (folha jovem, em expansão e completamente expandida), com 10 repetições por local de exposição e 3 tempos de coleta desse índice: 19 a 21/10/2014, 11 a 13/11/2014 e 01 a 03/12/2014. Antes das leituras, as folhas foram lavadas para a retirada de possíveis materiais particulados aderidos.

3.10. Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os dados de sintomatologia, quantificação de macro, micronutrientes e metais pesados na matéria vegetal foram submetidos a testes de normalidade e análise de variância (ANOVA) e as médias, ao teste de média de Tukey a 5 % de probabilidade para comparação das médias. Os dados de deposição de material particulado foliar compuseram um fatorial 2x3x3 (2 folhas, 3 repetições por local amostrado e 3 épocas de coleta), os dados de SPAD compuseram um fatorial 3x10x3 (3 folíolos, 10 repetições por local de amostragem e 3 épocas de determinação desse índice). Para isso, utilizou-se o programa Sisvar 5.4 (FERREIRA, 2010). Já os dados de poluentes atmosféricos foram submetidos às análises de regressão polinomial utilizando o programa GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS

4.1. Meteorologia e direção do vento

Quanto à temperatura (Figura 2A - 2E), observou-se que em todos os locais amostrados durante o período experimental o mês que alcançou as maiores temperaturas foi fevereiro, com as seguintes médias: Bom Retiro (30,4 °C), Cariru (32 °C), Cidade Nobre (32,2 °C), Veneza (32,6 °C) e PERD (31,9 °C). Além disso, ressalta-se que na estação RAMQAM Cariru, a média de temperatura não foi registrada no mês de novembro.

Para os valores mínimos e máximos de temperatura (Tabela 1), observou-se que no bairro Bom Retiro, a temperatura mínima foi registrada nos meses outubro e dezembro (22 °C) e a temperatura máxima foi registrada em janeiro (36 °C). No bairro Cariru, a temperatura mínima foi registrada em janeiro (25 °C) e a temperatura máxima

foi registrada em outubro e janeiro (35 °C). No bairro Cidade Nobre, a temperatura mínima e máxima foi registrada no mês de outubro (23 °C e 35 °C) respectivamente. No bairro Veneza, a temperatura mínima foi registrada em dezembro (23 °C) e a temperatura máxima foi registrada em outubro (36 °C). No PERD, a temperatura mínima foi registrada nos meses outubro e dezembro (22 °C) e a temperatura máxima foi registrada em janeiro (35 °C).

Nos locais amostrados, o mês com a maior média de precipitação pluviométrica foi fevereiro (Figura 2A - 2E), com as seguintes médias: Cariru (15,7 mm), Cidade Nobre (13,1 mm), Veneza (14 mm) e PERD (46,5 mm). Nos bairros da cidade de Ipatinga, o mês com menor média de pluviosidade foi o mês de janeiro, com as seguintes médias: Bom Retiro 0 mm e Cariru, Cidade Nobre e Veneza 0,2 mm. No PERD, entretanto, o mês com menor pluviosidade foi novembro com a média de 0,1 mm. No bairro Bom Retiro, não foi registrada precipitação pluviométrica no mês de fevereiro.

Para os valores máximos de precipitação pluviométrica (Tabela 1), observou-se que no bairro Bom Retiro a precipitação máxima foi registrada em dezembro (11 mm). No bairro Cariru, a precipitação máxima foi registrada em fevereiro (4 mm). No bairro Cidade Nobre, a precipitação máxima foi registrada em novembro (10 mm). No bairro Veneza, a precipitação máxima foi registrada em dezembro (5 mm). No PERD, a precipitação máxima foi registrada em dezembro (513 mm).

A umidade relativa (Figura 3A), atingiu seu menor valor médio na maioria dos pontos amostrados, no mês de janeiro, com as seguintes médias: Cidade Nobre (43,7%) e PERD (45,2 %), já nos bairros Bom Retiro, Cariru e Veneza, o mês de menor umidade relativa variou, sendo os seguintes: Bom Retiro (fevereiro com 45,8 %), Cariru (41,5 %) e Veneza (56,4 %) em outubro. Em novembro não foi registrado esse índice na RAMQAM Cariru.

Para os valores mínimos e máximos de umidade relativa (Tabela 2), observou-se que nos bairros da cidade de Ipatinga, os valores mínimos de umidade relativa foram registrados em janeiro, sendo: Bom Retiro (25,7 %), Cariru (25 %), Cidade Nobre (25,4 %) e Veneza (48,3 %). No PERD, o mês com o registro mínimo de umidade relativa foi outubro (31,8 %). Quanto aos valores máximos de umidade relativa, observou-se que nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre esse registro foi alcançado no mês de dezembro, com os seguintes valores: Bom Retiro (89,5 %), Cariru (74,8 %) e Cidade Nobre (87 %). No bairro Veneza e no PERD, os valores máximos de umidade relativa foram registrados em fevereiro e novembro respectivamente, com os seguintes valores: Veneza (93,5 %) e PERD (90 %).

Quanto à pressão atmosférica (Figura 3B), observou-se que ela foi menor no bairro Cariru e no PERD em comparação com os outros locais amostrados, com as seguintes médias: Bom Retiro (986,88 mbar), Cariru (980,36 mbar), Cidade Nobre

(985,48 mbar) e PERD (981,83 mbar). Não foi registrada a pressão atmosférica na RAMQAM Veneza durante o período experimental e nem no bairro Cariru no mês de novembro.

Para os valores mínimos e máximos de pressão atmosférica (Tabela 2), observou-se que no bairro Bom Retiro a pressão atmosférica mínima foi registrada no mês de novembro (981 mbar) e a pressão atmosférica máxima foi registrada em outubro (991,4 mbar). No bairro Cariru, a pressão atmosférica mínima foi registrada em fevereiro (939,9 mbar) e a pressão atmosférica máxima foi registrada em janeiro (985,8 mbar). No bairro Cidade Nobre, a pressão atmosférica mínima foi registrada no mês de novembro (980 mbar) e a pressão atmosférica máxima foi registrada em outubro (990,3 mbar). No PERD, a pressão atmosférica mínima foi registrada nos meses outubro e novembro (976 mbar) e a pressão atmosférica máxima foi registrada em outubro e dezembro (986,7 mbar).

A radiação solar global (Figura 3C) foi mais intensa em todos os pontos da cidade de Ipatinga no mês de janeiro, alcançando as seguintes médias: Bom Retiro (424,83 W/m²), Cariru (495,54 W/m²), Cidade Nobre (485,83 W/m²) e Veneza (520,45 W/m²). Além disso, nos meses de outubro a janeiro, o bairro Bom Retiro recebeu menor quantidade de radiação solar global se comparado com os outros bairros. No mês de fevereiro, a menor radiação solar global foi registrada no bairro Cidade Nobre. O bairro que recebeu maior radiação solar global durante todo o período experimental se comparado aos outros, foi o bairro Veneza (412,66 W/m²), seguido de Cidade Nobre (379,46 W/m²), Bom Retiro (350,21 W/m²) e Cariru (332,06 W/m²). Em novembro, não foi registrado esse índice na RAMQAM Cariru e no PERD esse índice não foi registrado pela PCD.

Para os valores mínimos e máximos de radiação solar global (Tabela 2), observou-se que nos bairros de Ipatinga Cariru, Cidade Nobre e Veneza, os valores mínimos de radiação solar global foram registrados em fevereiro sendo: Cariru (73,6 W/m²), Cidade Nobre (84,2 W/m²) e Veneza (85,6 W/m²). No bairro Bom Retiro, o valor mínimo de radiação solar global foi registrado em dezembro (116 W/m²). Os valores máximos de radiação foram registrados no mês de janeiro em todos os bairros da cidade de Ipatinga, sendo: Bom Retiro (516 W/m²), Cariru (603,5 W/m²), Cidade Nobre (560,7 W/m²) e Veneza (589 W/m²).

Quanto às médias horárias de dados meteorológicos de todo o período experimental, observou-se que os maiores picos médios de radiação solar e temperatura aconteceram no período entre 12 e 14 h, e os bairros com as maiores médias desses parâmetros foram Cariru e Veneza, seguidos por Cidade Nobre e Bom Retiro (Figura 4A - 4B).

De maneira inversa, a umidade relativa do ar foi menor em todos os bairros no período entre 12 e 14 h, sendo as menores médias encontradas no bairro Cariru, seguido por bairro Cidade Nobre, bairro Bom Retiro e bairro Veneza (Figura 4C).

A pressão atmosférica foi menor no bairro Cariru, seguido por bairro Cidade Nobre e bairro Bom Retiro. Além disso, observou-se que a variação horária diária de pressão atmosférica se deu da seguinte forma: aumento da pressão no período entre 8 e 9 h e decréscimo no período das 16 e 17 h (Figura 4D). Não foi registrado esse índice na RAMQAM do bairro Veneza.

Quanto à direção do vento nos locais amostrados, observou-se que o vento vindo de Norte-Nordeste (NNE) e Nordeste (NE) predominou durante o período de experimento em todos os bairros da cidade de Ipatinga (Figura 5A - 5D). Os bairros situados ao norte da usina siderúrgica apresentaram maior velocidade média do vento (Veneza - 2,06 m/s e Cidade Nobre - 1,93 m/s), já os bairros situados ao sul da usina siderúrgica apresentaram menor velocidade média do vento (Bom Retiro - 1,3 m/s e Cariru - 0,98 m/s).

4.2. Qualidade do ar

Quanto à qualidade do ar, observou-se que as maiores médias mensais de ozônio nos bairros de Ipatinga, foram registradas em outubro, com os seguintes valores: Bom Retiro (28 ppb), Cariru (26 ppb), Cidade Nobre (30 ppb) e Veneza (22 ppb) (Figura 6A).

Para os valores mínimos e máximos de concentração de ozônio (Tabela 3), observou-se que no bairro Bom Retiro o valor mínimo de concentração de ozônio foi registrado no mês janeiro (0 ppb), no bairro Cariru, esse valor foi registrado em dezembro, janeiro e fevereiro (0 ppb), no bairro Cidade Nobre, a concentração mínima de ozônio foi registrada em novembro (12 ppb) e no bairro Veneza, em outubro e novembro (0 ppb). As concentrações máximas de ozônio foram registradas em todos os bairros de Ipatinga no mês outubro, sendo: Bom Retiro (43 ppb), Cariru (37 ppb), Cidade Nobre (45 ppb) e Veneza (33 ppb).

As maiores médias horárias de ozônio durante todo o período de experimento foram registradas no período entre 12 h e 14 h (Figura 7A), horário em que a temperatura e a radiação solar foram mais intensas e a umidade relativa do ar atingiu suas menores médias (Figura 4A - 4C).

O bairro que atingiu o maior pico médio horário de ozônio diário foi o bairro localizado ao sul da usina siderúrgica Bom Retiro (43 ppb), seguido por Cidade Nobre (38 ppb), Cariru (32 ppb) e Veneza (24 ppb) (Figura 7A).

Para o registro de horários e número de dias em que ocorreram índices de ozônio acima do aceitável para a vegetação (40 ppb/h de ozônio troposférico), segundo a

Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000), verificou-se que o local com mais ocorrências horárias e diárias foi o bairro Bom Retiro e o com menos ocorrências foi o bairro Veneza (Tabela 4).

Quanto aos precursores nitrogenados do ozônio, observa-se que as maiores médias mensais de monóxido de nitrogênio (NO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) foram registradas no bairro Bom Retiro em todos os meses amostrados (Figura 6B - 6C). O mês com o maior registro médio de monóxido de nitrogênio no bairro Bom Retiro foi dezembro (4,5 ppb) e para os óxidos de nitrogênio, o maior registro médio ocorreu em fevereiro (11,5 ppb). O menor valor médio mensal de monóxido de nitrogênio foi registrado no bairro Cidade Nobre em janeiro (1,4 ppb) e de óxidos de nitrogênio foi registrado no bairro Veneza em outubro (3,8 ppb).

Para os valores mínimos e máximos de concentração de monóxido de nitrogênio (Tabela 3), observou-se que no bairro Bom Retiro, o valor mínimo de concentração foi registrado no mês janeiro (0 ppb), no bairro Cariru, esse valor foi registrado em outubro, novembro e janeiro (1 ppb), no bairro Cidade Nobre, a concentração mínima foi registrada em outubro, novembro, dezembro e janeiro (1 ppb) e no bairro Veneza, em outubro e novembro (0 ppb). As concentrações máximas de monóxido de nitrogênio foram registradas em diferentes meses, sendo: Bom Retiro (12 ppb) em outubro, Cariru (5,7 ppb) em dezembro, Cidade Nobre (4 ppb) em outubro e fevereiro e Veneza (11,4 ppb) em dezembro.

Para os valores mínimos e máximos de concentração de óxidos de nitrogênio (Tabela 3), observou-se que no bairro Bom Retiro o valor mínimo de concentração foi registrado no mês janeiro (0 ppb), no bairro Cariru, esse valor foi registrado em novembro, (3 ppb), no bairro Cidade Nobre, a concentração mínima foi registrada em dezembro e fevereiro (2,9 ppb) e no bairro Veneza, em outubro e novembro (0 ppb). As concentrações máximas de óxidos de nitrogênio foram registradas em diferentes meses, sendo: Bom Retiro (18,2 ppb) em dezembro, Cariru (16 ppb) em outubro, Cidade Nobre (13,3 ppb) em fevereiro e Veneza (22 ppb) em outubro.

Para as médias horárias de monóxido de nitrogênio (NO) e óxidos de nitrogênio (NO_x), observa-se que as maiores concentrações médias foram registradas nos períodos da manhã e da noite e os bairros com as maiores concentrações médias de NO foram: Bom Retiro (7,7 ppb) e Cariru (7 ppb), seguidos por Veneza (4,8 ppb) e Cidade Nobre (4,2 ppb). Os bairros com as maiores concentrações médias de NO_x foram: Cariru (15,3 ppb), Bom Retiro (14,9 ppb), Veneza e Cidade Nobre (11,6 ppb) (Figura 7B - 7C).

Para o dióxido de enxofre, verificou-se que as maiores concentrações médias em todos os meses amostrados foram registradas no bairro Bom Retiro (Figura 6D). Os meses com os maiores registros médios de dióxido de enxofre no bairro Bom Retiro

foram outubro e janeiro (3 ppb). Os menores valores médios mensais de dióxido de enxofre foram registrados nos bairros Cidade Nobre em fevereiro (0,2 ppb) e Veneza em outubro (0,2 ppb).

Para os valores mínimos e máximos de concentração de dióxido de enxofre (Tabela 3), observou-se que nos bairros Bom Retiro e Cariru, o valor mínimo de concentração foi registrado nos meses outubro e novembro (0 ppb), no bairro Cidade Nobre, esse valor foi registrado em todos os meses amostrados, (0 ppb), no bairro Veneza, a concentração mínima foi registrada em outubro, novembro e dezembro (0 ppb). As concentrações máximas de dióxido de enxofre foram registradas em diferentes meses, sendo: Bom Retiro (6,2 ppb) e Cidade Nobre (2,9 ppb) em novembro, Cariru (2,9 ppb) em dezembro e Veneza (3,3 ppb) em janeiro.

Quanto às concentrações médias horárias de dióxido de enxofre, observou-se que os maiores registros aconteceram durante o período do dia, com os maiores picos de concentração registrado no bairro Bom Retiro (4,4 ppb), representando uma concentração de SO₂ quase 3 vezes maior do que a que foi encontrada nos outros bairros, Cariru (1,6 ppb), Cidade Nobre (1,4 ppb) e Veneza (1 ppb) (Figura 7D). Apesar disso, as concentrações desse poluente estão dentro do aceitável de acordo com a resolução do CONAMA N.º 003 de 28 de junho de 1990, que define os padrões de qualidade do ar no país.

Para os poluentes hidrocarbonetos, observou-se que para os hidrocarbonetos totais (HT), as maiores médias mensais foram registradas no bairro Veneza (Figura 8A). O mês com os maiores registros médios de concentração desse poluente foi outubro (2517,79 ppb). O local com menor registro médio mensal desse poluente foi o bairro Cariru em janeiro (2083,32 ppb).

Quanto às médias mensais de hidrocarbonetos não metânicos (HCnM), verificou-se que as maiores concentrações desse poluente foram registradas no bairro Cidade Nobre em todos os meses amostrados, exceto no mês de outubro. O maior registro de concentração desse poluente ocorreu em fevereiro (240 ppb) (Figura 8B).

Quanto as médias horárias de poluentes hidrocarbonetos, observou-se que para os hidrocarbonetos totais (HT) e os hidrocarbonetos não metânicos (HCnM), os picos de concentração ocorreram na madrugada, início da manhã e na noite, sendo as maiores concentrações encontradas para os hidrocarbonetos totais no bairro Veneza (HT – 2781,46 ppb) e para os hidrocarbonetos não metânicos, nos bairros Cidade Nobre (HCnM – 275,25 ppb) e Veneza (HCnM – 249,52 ppb) (Figura 9A - 9B).

Quanto a média mensal de benzeno (Figura 8C), verificou-se que as maiores concentrações desse poluente foram registradas nos bairros Cariru (0,45 ppb) em outubro e Veneza (0,5 ppb) em novembro. A menor concentração foi registrada no bairro Cidade Nobre em janeiro (0,02 ppb).

Para o benzeno, observou-se que nos bairros Veneza e Cariru ocorreram picos e decréscimos de concentração ao longo de todo o dia e a maior concentração ocorreu no Cariru (0,72 ppb) no período da noite. No bairro Cidade Nobre foram encontradas as menores médias diárias desse poluente e as menores oscilações de média de concentração entre 0,03 e 0,09 ppb (Figura 9C).

Quanto às médias mensais de Tolueno (Figura 8D), observa-se que os maiores registros foram observados nos bairros Cidade Nobre (0,381 ppb) e Veneza (0,384 ppb), ambos em outubro. As menores médias desse poluente, foram registradas no bairro Bom Retiro em janeiro (0,03 ppb).

Para o etil benzeno, as maiores médias mensais foram registradas nos bairros Cidade Nobre e Veneza (Figura 8E). A maior média foi observada no bairro Veneza em fevereiro (0,118 ppb). A menor média mensal, foi observado no bairro Bom Retiro em novembro e dezembro (0,002 ppb).

Para o orto - xileno, as maiores médias mensais foram registradas nos bairros Cariru (0,154 ppb) em dezembro e Veneza (0,224 ppb) em janeiro (Figura 8F). A menor média mensal, foi registrada no bairro Bom Retiro (0 ppb) em fevereiro.

Para o meta e para - xileno, as maiores médias mensais, foram observadas nos bairros Cidade Nobre em outubro (0,205 ppb) e Veneza em fevereiro (0,216 ppb) (Figura 8G). A menor média desse poluente, foi registrada no bairro Bom Retiro em janeiro (0,002 ppb).

Para o tolueno, etil benzeno e meta e para - xileno, as concentrações horárias foram maiores nos bairros localizados ao norte da usina siderúrgica, Cidade Nobre e Veneza (Figura 9D - 9E e 9G). Os maiores picos horários de concentração desses poluentes no bairro Cidade Nobre foram os seguintes: tolueno - 0,37 ppb; etil benzeno - 0,095 ppb; meta e para - xileno - 0,265 ppb (Figura 9D - 9E e 9G). No bairro Veneza, encontrou-se os seguintes valores nas horas de picos de concentração desses poluentes: tolueno - 0,54 ppb; etil benzeno - 0,113 ppb; meta e para - xileno - 0,294 ppb (Figura 9D - 9E e 9G).

Para o orto - xileno, observou-se que as concentrações horárias desse poluente, aumentaram durante o dia e decresceram na madrugada nos bairros Veneza, Cariru e Cidade Nobre, sendo as maiores concentrações desse poluente encontradas no bairro Veneza (0,256 ppb), já no bairro Bom Retiro, as concentrações desse poluente foram baixas e pouco variaram (0,001 a 0,006 ppb) (Figura 9F).

Para o naftaleno, as maiores médias mensais, foram registradas no bairro Cariru em todo o período de amostragem (Figura 8H). A maior média nesse bairro, foi registrada em outubro (0,232 ppb). A menor média desse poluente foi observada em outubro, no bairro Veneza (0 ppb).

Quanto as médias horárias desse poluente, observou-se que em todos os bairros ocorreram picos e decréscimos de concentração a partir da manhã e decaindo durante a madrugada, sendo as maiores médias encontradas no bairro Cariru (0,445 ppb) (Figura 9H).

Os valores máximos e mínimos de Hidrocarbonetos Totais - HT, Hidrocarbonetos não Metânicos - HCNM, Benzeno - B, Tolueno - T, Etil Benzeno - EB, Orto - Xileno - O - X, Meta e Para Xileno - M - X e P - X e Naftaleno - N estão listados na Tabela 5.

Nas análises de regressão polinomial entre a variação média na concentração diária de poluentes nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga, ao longo de todo o período experimental, observou-se que, para o ozônio, houve relação linear significativa em todos os bairros, sendo essa relação negativa (β_1 negativo na tabela 9 em anexo) nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre e positiva apenas no bairro Veneza (β_1 positivo na tabela 9 em anexo). As maiores médias de concentração de ozônio foram encontradas nos bairros Bom Retiro, Cidade Nobre e Cariru. No bairro Veneza, as concentrações de ozônio aumentaram com o passar do tempo, atingindo concentrações semelhantes às dos outros bairros nos últimos dias de amostragem experimental (Figura 10A).

No bairro Veneza, diferentemente do que ocorreu nos outros bairros, houveram incrementos diários significativos na concentração de ozônio, com β_1 positivo, indicando incremento na concentração de ozônio de $0,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por dia (Tabela 9 em anexo e Figura 10A).

Com relação ao monóxido de nitrogênio, observou-se que as concentrações desse poluente não variaram estatisticamente ao longo do tempo nos bairros Bom Retiro, Cidade Nobre e Veneza, apresentando comportamento linear. No bairro Cariru, observou-se decréscimos diários ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 9 em anexo) na concentração desse poluente de $0,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que foram estatisticamente significantes. As maiores médias de concentração desse poluente foram encontradas no Bom Retiro, Cariru e Veneza (Figura 10B).

Para os óxidos de nitrogênio, observou-se que a concentração desse poluente não variou estatisticamente ao longo do tempo no bairro Bom Retiro (Tabela 9 em anexo), apresentando comportamento linear. Nos bairros Cariru e Cidade Nobre, foram observados decréscimos estatisticamente significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 9 em anexo) e no bairro Veneza, houve incremento estatisticamente significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 positivo na tabela 2). As maiores médias de concentração desse poluente foram encontradas no bairro Bom Retiro (Figura 10C).

Para o dióxido de enxofre, as concentrações desse poluente não variaram estatisticamente ao longo do tempo nos bairros Bom Retiro e Cidade Nobre. Nos bairros

Cariru e Veneza foram observados incrementos estatisticamente significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 positivo na tabela 9 em anexo). As maiores concentrações foram encontradas no bairro Bom Retiro (Figura 10D).

Para os hidrocarbonetos totais, as relações lineares foram significativas em todos os bairros, sendo positiva para o Cidade Nobre e Veneza e negativa para o Bom Retiro e Cariru (Tabela 10 em anexo). No bairro Veneza, foram encontradas as maiores médias de concentração desse poluente (Figura 11A).

Quanto aos hidrocarbonetos não metânicos, observou-se que as relações lineares foram significativas em todos os bairros ao longo do tempo. As relações lineares foram positivas nos bairros Cidade Nobre, Veneza e Bom Retiro e apenas no Cariru foi negativa (Tabela 10 em anexo). As maiores concentrações foram encontradas nos bairros Cidade Nobre e Veneza (Figura 11B).

Para o benzeno, observou-se que a concentração desse poluente variou estatisticamente nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre, havendo decréscimos estatisticamente significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 10 em anexo). As maiores concentrações de benzeno foram encontradas nos bairros Cariru e Veneza, sendo que nesse último bairro, houveram incrementos diários na concentração desse poluente, embora não tenha sido significativa (Figura 11C).

O tolueno apresentou relações lineares estatisticamente significantes em todos os bairros. Decréscimos significativos na concentração diária desse poluente foram observadas nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre (β_1 negativo na tabela 10 em anexo). No bairro Veneza, houveram incrementos diários significativos na concentração desse poluente (β_1 positivo na tabela 3). As maiores concentrações desse poluente foram encontradas nos bairros Cariru, Cidade Nobre e Veneza (Figura 11D).

Para o etil benzeno, observou-se que a concentração desse poluente não variou estatisticamente ao longo do tempo no bairro Bom Retiro, apresentando comportamento linear. Nos bairros Cariru e Cidade Nobre houveram decréscimos significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 10 em anexo) e no bairro Veneza, houveram incrementos diários significativos ao longo do tempo (β_1 positivo na tabela 10 em anexo). As concentrações foram próximas do zero no bairro Bom Retiro e as maiores médias foram encontradas nos bairros Cidade Nobre e Cariru (Figura 11E).

Quanto ao orto xileno observou-se que a concentração desse poluente variou estatisticamente ao longo do tempo nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre, havendo decréscimos significativos na concentração diária desse poluente (β_1 negativo na tabela 10 em anexo). As maiores médias foram encontradas no bairro Bom Retiro.

No bairro Veneza foi observado incremento na concentração desse poluente ao longo do tempo, embora não tenha sido significativo (Figura 11F).

Para o meta e para - xileno, observou-se que a concentração desses poluentes variaram estatisticamente ao longo do tempo nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre, havendo decréscimos significativos na concentração diária desse poluente (β_1 negativo na tabela 10 em anexo). As maiores concentrações foram observadas no bairro Bom Retiro (Figura 11G). O bairro Veneza foi o único local em que se observou incremento na concentração desse poluente ao longo do tempo, embora não tenha sido significativo.

Para o naftaleno, observou-se que as concentrações desse poluente não variaram estatisticamente ao longo do tempo nos bairros Cariru e Veneza, apresentando comportamento linear (Tabela 10 em anexo). Nos bairros Bom Retiro e Cidade Nobre, observou-se decréscimos significativos na concentração desse poluente ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 10 em anexo). As maiores médias foram encontradas nos bairros Bom Retiro e Cidade Nobre (Figura 11H).

Para as partículas totais em suspensão, observou-se que as maiores médias mensais foram registradas na maioria dos bairros de Ipatinga no mês outubro, com os seguintes valores: Bom Retiro ($46 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cariru ($59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Cidade Nobre ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No bairro Veneza, a maior média desse poluente e conseqüentemente a maior média registrada dentre todos os bairros, em todo o período amostral foi registrada em novembro, atingindo a média de $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 12A).

Para as médias horárias desse poluente durante todo o período experimental, observou-se que os maiores registros, ocorreram no bairro Cariru, sendo os picos de concentração desse poluente acontecendo pela manhã entre 7 e 8 h e a noite entre 18 e 21 h e os menores picos entre 12 e 14 h (Figura 12B).

Quanto à concentração ao longo do tempo, observou-se que as partículas totais em suspensão não variaram estatisticamente nos bairros Bom Retiro e Cariru, apresentando comportamento linear. No bairro Cidade Nobre, observou-se decréscimos significativos diários ao longo do tempo (β_1 negativo na tabela 11 em anexo) na concentração desse poluente. No bairro Veneza, observou-se incrementos diários significativos ao longo do tempo (β_1 positivo na tabela 11 em anexo) na concentração desse poluente.

Os bairros que apresentaram as maiores concentrações de partículas totais em suspensão foram os bairros Veneza e Cariru e as menores concentrações foram observadas nos bairros Bom Retiro e Cidade Nobre (Figura 12C). As relações lineares foram negativas nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre e positivas no bairro Veneza (Tabela 11 em anexo), sendo nesse bairro onde foi observado o maior pico de concentração desse poluente, acontecido após o 51º dia de experimento (Figura 12C).

Os valores máximos e mínimos de Partículas Totais em Suspensão estão listados na Tabela 6.

4.3. Determinação da deposição de material particulado sobre as folhas de *J. princeps*

Na determinação da deposição de material particulado sobre as folhas de *J. princeps*, não foi evidenciada diferença estatística significativa na interação entre o local e a data de coleta. Portanto, a data de coleta influenciou de maneira igual em todos os locais nos quais o material particulado foi coletado.

As diferenças estatísticas significativas se deram em função do local de exposição (Figura 13A) e do tempo de coleta isoladamente (Figura 13B). Quanto ao local, a maior deposição foliar, ocorreu nas plantas do bairro Cariru com 0,00019 mg.mm⁻² de material particulado e o local com menor deposição foi a estação referência no PERD, com 0,00004 mg.mm⁻² de material particulado foliar, que não diferiu estatisticamente do bairro Cidade Nobre com 0,00006 mg.mm⁻² de material particulado foliar (Figura 13A).

Quanto ao tempo de coleta, observou-se que foram nos meses de dezembro e janeiro em que se observou maior deposição de material particulado foliar com 0,00016 mg.mm⁻² e 0,00012 mg.mm⁻², respectivamente (Figura 13B).

4.4. Sintomatologia foliar

Os sintomas visuais foram evidentes 8 dias após o início da exposição das plantas. Os sintomas observados foram necroses foliares na margem (Figura 14B e F), no ápice e base (Figura 14A e C), se estendendo do ápice até a margem foliar (Figura 14E), branqueamento foliar entre as nervuras (Figura 14D) e cloroses (Figura 14B a F).

Quanto a porcentagem de área foliar afetada, observou-se diferenças estatísticas significativas entre local e tempo de exposição das plantas. Diferenças estatísticas não foram evidenciadas na interação entre os fatores local e tempo de exposição. Portanto, o tempo de exposição das plantas influenciou de maneira igual em todos os locais nos quais essa análise foi realizada.

Quanto ao local (Figura 15A), observou-se que as plantas expostas no bairro Cariru apresentaram mais lesões foliares (38,3 %). As lesões foliares de plantas expostas nesse bairro foram moderadas. Em seguida, as lesões foliares também foram moderadas no bairro Bom Retiro (30,8 %). As lesões foliares de plantas expostas nos bairros Cidade Nobre (22,2 %) e Veneza (26,5 %) foram leves e não diferiram estatisticamente entre si. No PERD, ocorreram menos lesões foliares, que também foram leves (10,6 %).

Os sintomas foliares aumentaram com o tempo de exposição, sendo as lesões leves no tempo 1 (13 %) e tempo 2 (23,6 %) e moderadas no tempo 3 (35 %).

4.5. Localização, morfologia, anatomia, histoquímica e micromorfologia dos nectários

Joannesia princeps apresenta dois tipos de nectários, localizados no ápice e base do pecíolo. Os nectários localizados na base peciolar são encontrados usualmente em pares na inserção dos pecíolos (Figura 16A - 16C). No ápice peciolar, os nectários extraflorais são fundidos na base e livres na região apical, constituindo duas unidades distintas (Figura 16B - 16D). Morfologicamente, eles são cilíndricos e formam uma região côncava na porção superior. Ocorrem rupturas na cutícula por onde a secreção é eliminada (Figura 16F).

Ambos os nectários extraflorais de *J. princeps* apresentam epiderme secretora em paliçada, parênquima nectarífero e são intensamente vascularizados por xilema e floema que confluem do sistema vascular do pecíolo (Figura 16E - 16F). A epiderme secretora em paliçada é multisseriada com duas camadas de células e revestida por cutícula (Figura 16F). O parênquima secretor é frouxamente arranjado, possuindo células pequenas, isodiamétricas, de paredes delgadas e citoplasma denso. Além disso, observam-se idioblastos contendo drusas subjacentes a esse parênquima (Figura 16F). Percebe-se a presença de laticíferos entre o parênquima de preenchimento (Figura 16E) e a distensão da cutícula em virtude do acúmulo de secreção entre a epiderme secretora e a cutícula é bem evidente (Figura 16C e F).

Encontrou-se três padrões de danos anatômicos causados pela poluição em condições ambientais de campo: necroses na epiderme e epiderme secretora (Figuras 17D, 17E, 17G, 17H) formação de um tecido de cicatrização (Figura 17A - 17D, 17F, 18A - 17D) e hiperplasia de células da epiderme secretora (Figura 17G - 17H).

Na formação do tecido de cicatrização, houve a desdiferenciação de células do parênquima de preenchimento em células meristemáticas de forma retangular achatada radialmente que passaram a formar células suberizadas ou lignificadas, em séries radiais e compactamente arranjadas em direção à epiderme (Figura 17B - 17C, 17F, 18A - 18D).

Os testes histoquímicos realizados nos nectários extraflorais de *J. princeps* da estante referência, no PERD, revelaram a presença de compostos fenólicos na epiderme secretora e células do parênquima nectarífero (Figura 19B). As células da epiderme secretora e parênquima nectarífero reagiram positivamente ao Xilidine Ponceau, indicando acúmulo de proteínas nessas células (Figura 19C). O acúmulo de lipídios ocorre na epiderme secretora, no parênquima nectarífero e na cutícula, verificado pela reação ao Sudan Black B. Observam-se, também, lipídios no parênquima

nectarífero e na cutícula (Figura 19D). Foram observados pequenos grãos de amido nas células da epiderme secretora pela reação positiva com o Reagente de Schiff/ ácido periódico – PAS (Figura 19E - 19F).

Nos nectários expostos à campo, foram observadas reações positivas nos nectários extraflorais de plantas de todos locais, para os testes com o Reagente de Schiff/ ácido periódico – PAS e com o Cloreto Férrico. Nas plantas expostas no bairro Cariru, observou-se que no teste com XP, a maioria das células do parênquima nectarífero reagiu negativamente a esse teste e as células da epiderme secretora reagiram positivamente. Para o Sudan Black B, observou-se colorações tênues nas células do parênquima nectarífero e epiderme secretora. Esses testes indicaram que no bairro Cariru houve diminuição no acúmulo de proteínas e lipídeos em nectários extraflorais de *J. princeps* (Figura 20B - 20C).

4.6. Caracterização ultraestrutural dos nectários de *J. princeps*

Observou-se danos micromorfológicos superficiais nos nectários de *J. princeps* expostos à atmosfera da cidade de Ipatinga. Na estação referência do PERD foram observados nectários com aspecto sadio, apresentando distensão da cutícula em virtude do acúmulo de néctar entre a cutícula e a epiderme secretora (Figura 21A), células epidérmicas túrgidas e de contorno bem evidente e tricoma com ornamentações (Figura 21B).

Em nectários expostos à atmosfera de Ipatinga percebeu-se rompimento da superfície epidérmica e exposição de tecidos nectaríferos internos (Figuras 21C, 21D, 21F e 21G), danos e desarranjo dos tricomas, perda da turgidez e em alguns casos, queda dos tricomas (Figuras 21C, 21D, 21E, 21F e 21H). Apesar disso, observou-se atividade secretora com a distensão, rompimento da cutícula e exposição da epiderme secretora (Figura 21G).

4.7. Teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de *J. princeps*

Para a análise de quantificação foliar de nitrogênio, cálcio, cobre, zinco, manganês, níquel, chumbo e cádmio, observou-se que não houveram diferenças estatísticas significantes entre os locais. As diferenças ocorreram para os elementos ferro, cromo e alumínio (Tabela 8).

Para o ferro, o local com as maiores concentrações foliares foi o Bom Retiro, seguido por Veneza, Cariru, Cidade Nobre e PERD, que obtiveram médias estatisticamente iguais. Para o cromo, o local com as maiores concentrações foliares foi o Bom Retiro, seguido por Veneza e Cariru que foram estatisticamente iguais, bem como Cidade Nobre e PERD com as menores médias e estatisticamente iguais entre si. Para

o alumínio, o local com as maiores concentrações foliares foi o Bom Retiro, seguido por Cidade Nobre e Veneza, Cariru e PERD apresentaram as menores médias, mas estatisticamente iguais entre si (Tabela 8).

4.8. Índice SPAD

Quanto ao índice SPAD, não foi evidenciada diferença estatística significativa na interação entre local e tempo de avaliação. Portanto, o tempo de avaliação influenciou de maneira igual em todos os locais nos quais o índice SPAD foi medido.

As diferenças estatísticas significativas se deram em função do local de exposição (Figura 22A) e do tempo de avaliação isoladamente (Figura 22B).

Quanto ao local, os maiores valores desse índice foram encontrados no bairro Cidade Nobre com 34,6 unidades e no PERD com 33,6 unidades, sendo esses dois locais iguais estatisticamente. Os bairros Cariru e Veneza também não diferiram estatisticamente, de modo que ambos apresentaram 32,6 unidades desse índice e o menor valor foi encontrado no bairro Bom Retiro com 29,7 unidades. (Figura 22A).

O índice SPAD decresceu com o tempo de exposição, sendo o tempo 1 com 34,1 unidades, tempo 2 com 32,5 unidades e tempo 3 com 31,2 unidades (Figura 22B).

5. DISCUSSÃO

O verão 2014 / 2015 na região sudeste foi atípico em virtude da ocorrência de temperaturas acima da média histórica e chuvas abaixo dos valores médios históricos (MELO E SISMANOGLU, 2014; MELO E SISMANOGLU, 2015), o que contribuiu para a diminuição na qualidade do ar.

Em cerca de 68 % dos dias de experimento, houveram registros horários de concentração de ozônio acima do ideal para a vegetação no bairro Bom Retiro. Além disso, o vento vindo de nordeste e norte nordeste predominou em todos os bairros amostrados da cidade de Ipatinga. Os bairros localizados ao sul da usina siderúrgica, Bom Retiro e Cariru, apresentaram as menores velocidades médias de vento, o que pode ter contribuído para o acúmulo e menor dispersão de poluentes nesses locais.

A poluição atmosférica de Ipatinga é influenciada não apenas pela usina siderúrgica da cidade e pela frota de veículos circulante, mas também, pela poluição vinda do aterro sanitário do Vale do Aço que se localiza no sentido Ipatinga a Governador Valadares, a aproximadamente 9 km, a nordeste do centro de Ipatinga e por uma fábrica de celulose localizada à cerca de 22,5 km a nordeste do centro de Ipatinga, na cidade de Belo Oriente. Assim, os bairros Bom Retiro e Cariru são influenciados pela poluição atmosférica da usina siderúrgica pois recebem o vento vindo da direção do alto forno, aciaria, sinterização e coqueria, sendo o bairro Cariru o mais afetado por essa poluição por se localizar a pouco mais de 1,5 km dessa fonte de

poluição atmosférica. Esses dois bairros também são afetados pela poluição atmosférica proveniente do aterro sanitário e da fábrica de celulose. O bairro Cidade Nobre sofre influências da poluição gerada pelo tráfego de veículos e talvez pela fábrica de celulose e o bairro Veneza sofre influências da poluição vinda do aterro sanitário, da fábrica de celulose e do tráfego de veículos.

Os fatores que influenciam na concentração de ozônio incluem as fontes emissoras de precursores e a meteorologia local, como por exemplo, os diferentes padrões de direção do vento e a sua velocidade (CEC, 1997). Baixas velocidades de vento favorecem o acúmulo de ozônio e seus precursores nas áreas emissoras e altas velocidades de vento favorecem a diluição atmosférica da concentração local desses poluentes, aumentando a taxa de transporte desse poluente das áreas emissoras para outros locais. O transporte de ozônio e de precursores pode acontecer entre grandes distâncias, ultrapassando fronteiras de estados, províncias e até de países (CEC, 1997; CANADA - UNITED STATES AIR QUALITY COMMITTEE, 1999; SOER, 2015).

Trabalhos anteriormente feitos em Ipatinga e na região metropolitana do Vale do Aço demonstraram que a qualidade do ar nessa região, por vezes, é tida como inadequada. Segundo Araújo (2011), na região metropolitana do Vale do Aço, nos períodos de inverno com o ar frio e seco, a qualidade do ar é inadequada segundo a Organização Mundial de Saúde (2006), mas se encontra dentro das normas do CONAMA (1990). Nesse período, aumentam os registros de pessoas com problemas respiratórios. Carvalho (2012) destacou que os bairros Bom Retiro e Veneza foram os locais com mais registros horários de ozônio acima do que é recomendado pelo CONAMA (1990). No presente trabalho, observou-se que a concentração de ozônio troposférico é inadequada para a vegetação, segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000), visto que houveram vários registros em todos os bairros da cidade de Ipatinga de dias que ultrapassaram a concentração de 40 ppb/h de ozônio troposférico. Embora essa concentração de ozônio esteja abaixo dos padrões recomendados pela OMS, ela se encontra em níveis aceitáveis segundo as normas do CONAMA (1990).

Segundo Krupa (2001), as plantas podem receber exposições ao ozônio agudas (exposição a altas concentrações de ozônio de algumas horas ou dias consecutivos) ou crônicas (baixas concentrações de ozônio durante toda vida com ocasionais episódios de altas concentrações). A vegetação na cidade de Ipatinga é submetida a exposições crônicas ao ozônio, segundo a classificação de Krupa (2001).

As maiores médias horárias de concentração de ozônio ocorreram nos períodos do dia com maior radiação solar e menor umidade relativa do ar, entre 12 e 14 h, já as médias horárias de concentração de monóxido de nitrogênio e óxidos de nitrogênio foram menores nos períodos com maiores concentrações de ozônio, indicando que esses compostos nitrogenados participam da formação fotoquímica de ozônio

troposférico na cidade de Ipatinga, visto que a literatura relata a conversão fotoquímica desses poluentes em ozônio nos períodos do dia em que a radiação solar atinge seus maiores níveis (PUGLIESE et al., 2014).

Com relação aos decréscimos de ozônio, monóxido de nitrogênio, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre e poluentes hidrocarbonetos voláteis ao longo do tempo, nos bairros Bom Retiro, Cariru e Cidade Nobre percebe-se que isso pode ser explicado com a melhora na qualidade do ar na cidade de Ipatinga em virtude do aumento das precipitações pluviométricas nos períodos finais do experimento. Entretanto, no bairro Veneza, observou-se, que os incrementos de ozônio ao longo do tempo foram semelhantes aos incrementos nas concentrações de seus precursores monóxido de nitrogênio, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e poluentes hidrocarbonetos voláteis. Talvez isso se explique pelo fato de que esse é o ponto de maior altitude e estar entre os locais com a maior incidência de radiação solar, maiores temperaturas e estar mais próximo do aterro sanitário do Vale do Aço e na direção dos ventos dessa fonte de poluentes e da fábrica de celulose de Belo Oriente.

Quanto aos poluentes hidrocarbonetos, observa-se que embora a concentração de alguns desses poluentes tenha sido baixa, eles acarretam riscos à saúde da população, pois são cancerígenos e mutagênicos, não havendo concentração ambiente que seja segura (CETESB, 2001). Estudos sobre os efeitos desses poluentes na vegetação ainda carecem de mais investigações (CAPE, 2003).

Quanto às partículas totais em suspensão, observou-se comportamento semelhante aos poluentes precursores de ozônio, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, com diminuição da concentração desse poluente nos períodos do dia com maior incidência de radiação solar. O material particulado pode ser formado na atmosfera por meio de reações químicas envolvendo o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (CETESB, 2001), mas nos períodos do dia com maior incidência de radiação solar, esses poluentes são convertidos fotoquimicamente à ozônio troposférico (PUGLIESE et al., 2014), diminuindo a concentração de partículas totais em suspensão na atmosfera de Ipatinga.

A deposição de material particulado em suspensão só pôde ser medida na cidade de Ipatinga pela RAMQAM, já a deposição de material particulado nas folhas foi feita em todos os locais amostrados. Para a deposição de material particulado em suspensão da atmosfera de Ipatinga, observou-se que o bairro mais afetado foi o bairro Cariru e o menos afetado foi o bairro Veneza. Quanto à deposição de material particulado nas folhas de *J. princeps*, observou-se que o bairro Cariru também foi o mais afetado e o PERD, o menos afetado. O fato de o bairro Cariru ter sido o local com a maior quantidade de material particulado em suspensão e nas folhas de *J. princeps* tem

relação com o vento que vem da usina siderúrgica para esse bairro, pela baixa velocidade do vento e pela proximidade desse bairro com a usina siderúrgica.

Nos períodos com maior precipitação pluviométrica observou-se menor deposição de material particulado nas folhas. Resultado semelhante foi encontrado por Kuki et al. (2008). A deposição e o acúmulo de material particulado sobre as folhas podem causar alterações físicas, fisiológicas e anatômicas (HIRANO et al., 1995; AJURU E UPADHI, 2014).

Quanto aos danos foliares exibidos por *J. princeps*, observa-se que eles são relatados na literatura como sintomas de exposição a poluentes atmosféricos. O branqueamento foliar intervenal é característico de exposição crônica ao dióxido de enxofre (COSTELLO et al., 2003) e exposição aguda ao ozônio (KRUPA et al., 2001; MANNING et al., 2001). Pittenger (2015) ressaltou que o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, nitrato de peroxiacetila e o ozônio podem causar branqueamento foliar, em virtude do branqueamento da clorofila dentro da célula injuriada (CETESB, 2015b). Dessa forma, é difícil atribuir os sintomas foliares a um poluente específico no presente trabalho, mas, sim, à uma interação entre os poluentes.

Necroses foliares apicais e marginais em espécies nativas, podem ser causadas por flúor (SILVA et al., 2000), e por precipitação ácida (SILVA et al., 2005; SANT'ANNA-SANTOS et al., 2006). Além disso, Silva et al. (2005) observaram que *J. princeps* foi a espécie mais sensível à precipitação ácida, apresentando necroses apicais, marginais, venais e intervenais. Padrões de clorose e necrose foliar também são vistos como sintomas de exposição ao ozônio (KRUPA et al., 2001; SANT'ANNA, et al., 2014; SOUZA, 2009) e ao dióxido de enxofre (MUDD E KOSLOWSKI, 1975; KHAN et al., 2015).

Nas plantas expostas no PERD, foi observado menos danos foliares. Apesar disso, esses danos podem ter sido causados por fontes biogênicas de precursores de ozônio, ou seja, pela ação de outros seres vivos como a própria floresta nativa do PERD e pelo cultivo de eucalipto ao redor do parque. As principais fontes de compostos orgânicos voláteis na atmosfera provêm de florestas, na forma de hidrocarbonetos não metânicos (HCnM), sendo os isoprenos e terpenoides os principais (LELIEVELD et al., 2008). Segundo estimativas, a vegetação contribui com cerca de 98 % de emissões atmosféricas anuais naturais de hidrocarbonetos não metânicos (GUENTHER et al., 2000).

Trabalhos que envolvam os efeitos de poluentes atmosféricos em nectários extraflorais são escassos na literatura, sendo os resultados encontrados no presente estudo inéditos para o tema.

Os nectários extraflorais de *J. princeps* se mostraram tão susceptíveis aos efeitos de poluentes atmosféricos quanto a lâmina foliar da mesma espécie, estudada por Castro (2008).

A anatomia de nectários extraflorais de *J. princeps*, demonstrou ser uma ferramenta importante para demonstrar os efeitos dos poluentes nas plantas. Os nectários de indivíduos estudados apresentaram algum tipo de dano anatômico, sendo os danos aos nectários de plantas expostas nos bairros de Ipatinga mais severos quando comparados com os danos em nectários das plantas expostas no PERD. Quanto aos bairros de Ipatinga, os danos anatômicos mais severos nos nectários, foram observados no bairro Cariru, em virtude das particularidades associadas a esse bairro já citadas anteriormente.

A formação de tecidos de cicatrização nos nectários extraflorais expostos à campo foi um dos indicativos principais do estresse ao qual essas plantas foram submetidas. A função desse tecido de cicatrização é a compartimentalização de agentes infecciosos ou estressantes como bactérias, fungos, vírus ou outros microrganismos, ao redor da região infectada ou afetada, por meio de uma barreira de células suberificadas ou lignificadas (DICKISON, 2000). Além disso, outros agentes estressantes podem desencadear a formação desse tecido como: herbicidas (TUFFI SANTOS et al., 2008) e poluentes atmosféricos (SILVA et al., 2005; SANT'ANNA-SANTOS et al., 2006; SIQUEIRA-SILVA et al., 2012). A formação de tecido de cicatrização é um importante mecanismo de defesa das plantas, pois ele permite a formação de células parenquimáticas com potencial de formar novos tecidos e reestabelecer partes perdidas ou lesadas (DICKISON, 2000).

A caracterização ultraestrutural dos nectários extraflorais de *J. princeps* também demonstrou ser uma ferramenta importante para a evidenciação dos efeitos danosos da poluição atmosférica nas plantas. Observou-se um aspecto sadio nos nectários extraflorais de plantas expostas no PERD, demonstrando que a vegetação nativa desse local, sofre menos impactos relacionados à poluição atmosférica. Quanto aos nectários extraflorais expostos na cidade de Ipatinga, observou-se danos intensos na epiderme e nos tricomas bem como colonização por fungos na superfície dos nectários. Os danos superficiais como ruptura e exposição de tecidos nectaríferos, vistos no presente trabalho, fornecem uma porta de entrada para agentes patogênicos infecciosos nas plantas, o que demonstra que em Ipatinga, a poluição atmosférica causa impactos à vegetação.

Danos ultraestruturais com ruptura epidérmica e exposição de tecidos internos, bem como colonização fúngica em plantas causada por poluição atmosférica, são relatados nos trabalhos Santos (2013) e Sant'Anna-Santos (2008).

Pelos testes histoquímicos, percebeu-se menor acúmulo de proteínas e deposição de lipídeos nas células dos nectários extraflorais de *J. princeps* no bairro Cariru. De acordo com PACINI E NICOLSON (2007), o néctar deve conter compostos atrativos e que atendam às demandas nutricionais dos visitantes. Desse modo, alterações na qualidade do néctar podem ser ecologicamente prejudiciais, visto que, isso poderia interferir no mutualismo inseto-planta.

O ozônio altera o metabolismo celular (PETERS et al., 1988), fato que pode ter causado interferências na qualidade do néctar, além disso, esse poluente, pode alterar as interações entre inseto e planta ao promover a degradação dos COVs que as plantas utilizam como sinalizadores para atração de insetos polinizadores e predadores de insetos herbívoros (FUENTES et al., 2013). Embora não tenha sido possível quantificar o néctar de indivíduos de *J. princeps* expostos à campo, percebeu-se diminuição no volume de néctar liberado dos nectários nas plantas expostas em todos os pontos amostrados em função das necroses nos nectários, sendo esse fato preocupante, visto que o fornecimento de néctar é um importante recurso que determina a qualidade do habitat (WALLISDEVRIES et al., 2012).

A literatura relata que há correlação entre a intensidade do verde foliar e o teor de clorofila com a concentração de nitrogênio foliar (GIL et al., 2002) de modo que a utilização do SPAD nos dá um bom prognóstico do status de nitrogênio nas plantas. O fato de o índice SPAD nas folhas do bairro Cidade Nobre e do PERD terem apresentado os maiores valores desse índice, indica que nesses locais o status de nitrogênio foliar foi menos afetado se comparado com os outros locais. Os bairros Bom Retiro, Cariru e Veneza, foram mais susceptíveis aos efeitos que os poluentes atmosféricos podem causar ao status nutricional de nitrogênio das folhas, em virtude da deposição de material particulado e outros poluentes relacionados com a siderurgia (KUKI et al., 2008). Ao longo do tempo, a diminuição do índice SPAD, indica senescência foliar. No experimento estavam programadas 4 medidas desse índice, fato que foi inviabilizado pela queda das folhas após a terceira medida.

Com relação aos teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de *J. princeps*, observa-se que os teores de ferro, manganês, cromo e alumínio ultrapassaram os limites ideais para plantas de acordo com Barker e Pilbeam, (2007) e Kabata-Pendias, (2011) e os teores de cálcio, cobre, zinco, níquel, chumbo e cádmio estão dentro dos níveis aceitáveis de acordo com Barker e Pilbeam, (2007) e Kabata-Pendias, (2011).

Observa-se que embora o ferro e o manganês sejam elementos inorgânicos marcadores associados com a queima de óleo e com a siderurgia (CALVO, et al., 2013) e foram encontrados em maiores concentrações nos bairros de Ipatinga, não se pode afirmar que os altos níveis desses elementos na matéria vegetal provenham dessas

fontes de emissão visto que o substrato utilizado para cultivo das plantas durante o período experimental apresentava altos teores desses dois elementos.

O cromo, é elemento biomarcador de emissões siderúrgicas (CALVO, et al., 2013) e de fontes móveis (NDIOKWERE, 1984). Segundo Kabata-Pendias (2011) a faixa considerada excessiva ou tóxica para plantas varia entre 5 a 30 mg/kg⁻¹, desse modo, percebe-se que as plantas expostas nos bairros Bom Retiro e Veneza apresentaram níveis excessivos ou tóxicos de cromo seus tecidos foliares. As plantas do bairro Bom Retiro podem ter sido expostas à altos níveis de cromo proveniente da usina siderúrgica de Ipatinga e as plantas do bairro Veneza podem ter sido afetadas pelo tráfego de veículos local.

O alumínio é um elemento biomarcador de emissões de indústrias de metais não ferrosos e da queima de carvão (CALVO, et al., 2013). Para plantas, não existe o estabelecimento de concentrações de alumínio consideradas fitotóxicas (BARKER E PILBEAM, 2007). No presente trabalho, entretanto, foi observado que as plantas expostas no bairro Bom Retiro apresentaram concentração de alumínio que representaram mais do que o dobro da concentração encontrada nas plantas expostas no PERD, talvez em virtude da poluição atmosférica gerada pela indústria siderúrgica e pela indústria de metais não ferrosos do Vale do Aço.

Drumond (2012), realizando biomonitoramento ativo utilizando musgo *Sphagnum capillifolium* identificou vários metais no tecido vegetal originados de emissões veiculares, construção civil e siderurgia. Nesse estudo, foram identificados os seguintes metais na matéria vegetal: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, In, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti, Zn, V, Ti e Hg. Neste trabalho, nos bairros próximos à usina siderúrgica, observaram-se índices elevados dos seguintes metais na matéria vegetal: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Sn, Sr, Ti e Zn, indicando que a poluição por metais na atmosfera da cidade de Ipatinga está mais relacionada às fontes antrópicas do que às fontes naturais.

Pode-se concluir a vegetação na cidade de Ipatinga é impactada pela poluição atmosférica da indústria siderúrgica, pelo aterro sanitário do Vale do Aço, pela fábrica de celulose de Belo Oriente e pelo tráfego de veículos local. No PERD, a vegetação da floresta nativa sofre menos impactos relacionados à poluição atmosférica. A espécie *J. princeps* pode ser utilizada como bioindicadora e biomonitora de ambientes poluídos. Sugerem-se estudos posteriores que abranjam maiores períodos de tempo para se avaliar o comportamento da espécie durante a variação sazonal de poluentes na atmosfera de Ipatinga.

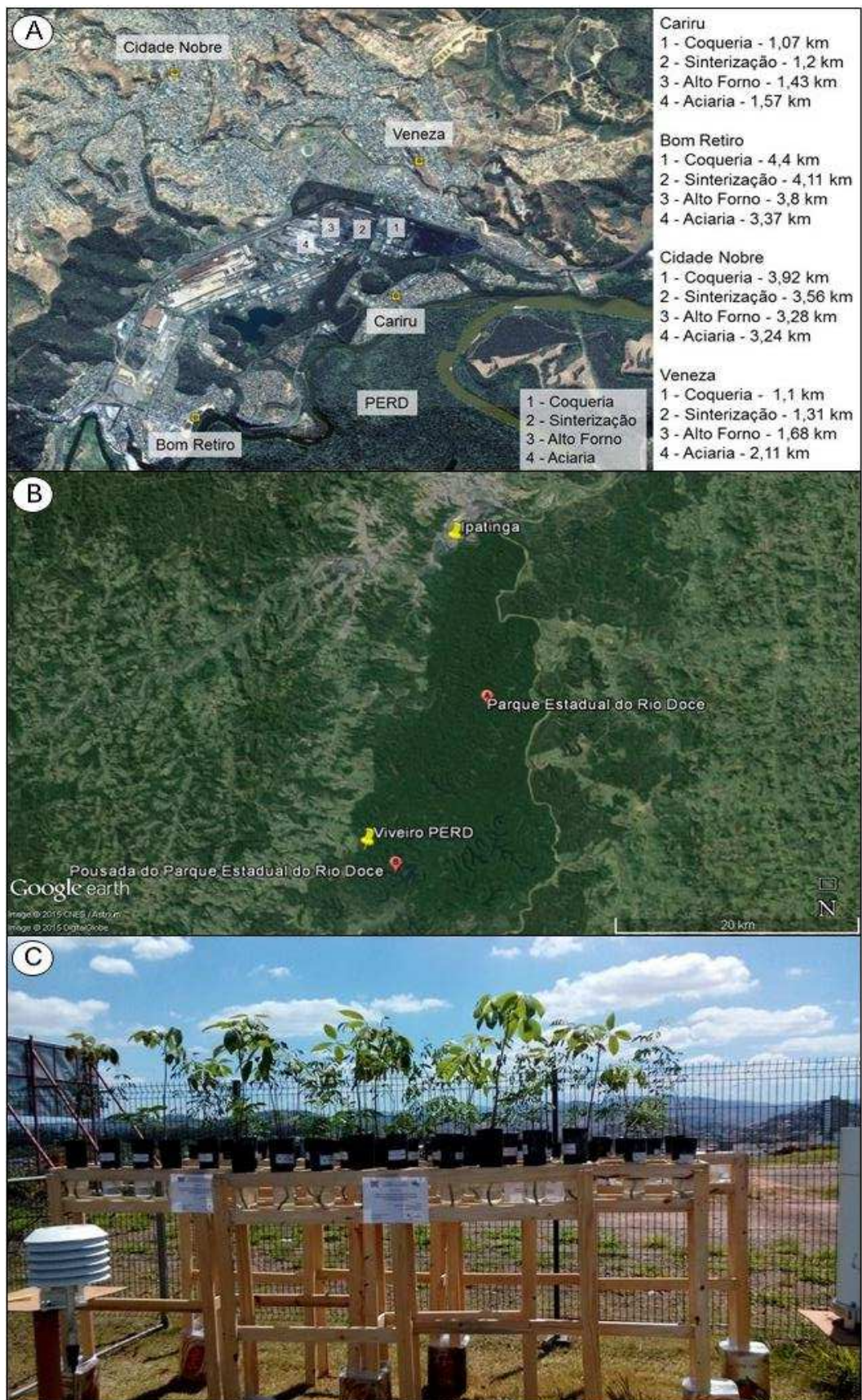


Figura 1 – A - Localização dos bairros onde foram montadas as estantes para o experimento no município de Ipatinga – Minas Gerais, e as distâncias para a usina siderúrgica. B - Localização do viveiro de mudas do PERD, onde foi montada a estante referência, em relação à cidade de Ipatinga. C - Estantes de exposição de mudas no bairro Veneza.

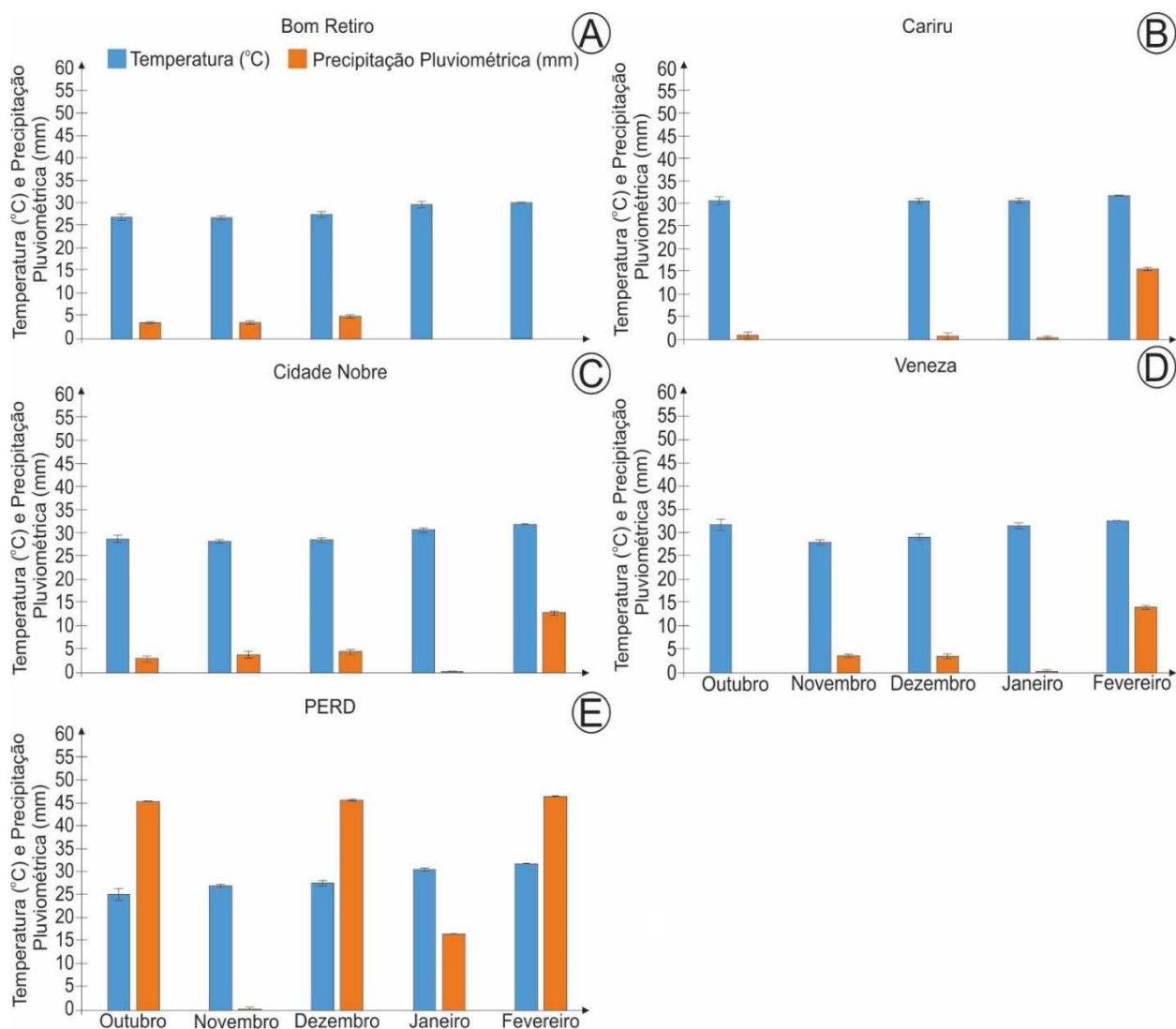


Figura 2 - Dados meteorológicos dos locais amostrados. A - E. Médias mensais de temperatura e precipitação pluviométrica (A - Bom Retiro; B - Cariru; C - Cidade Nobre; D - Veneza e E - PERD).

Tabela 1 - Valores máximo e mínimo de Temperatura - T e Precipitação Pluviométrica - PP dos locais amostrados. Valores de Temperatura expressos em (°C) e Precipitação Pluviométrica em (mm).

		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bom Retiro	T (°C)	22	34	24	31	22	33	24	36	30	30
	PP (mm)	0	4	0	9	0	11	0	0	0	0
Cariru	T (°C)	26	35	0	0	28	34	25	35	32	32
	PP (mm)	0	3	0	0	0	3	0	2	0	4
Cidade Nobre	T (°C)	23	35	25	32	24	34	26	34	32	32
	PP (mm)	0	7	0	10	0	6	0	4	0	4
Veneza	T (°C)	28	36	25	32	23	34	26	35	33	33
	PP (mm)	0	0	0	4	0	5	0	2	0	4
PERD	T (°C)	22	33	24	30	22	32	28	35	32	32
	PP (mm)	0	123	0	2	0	513	0	512	0	512

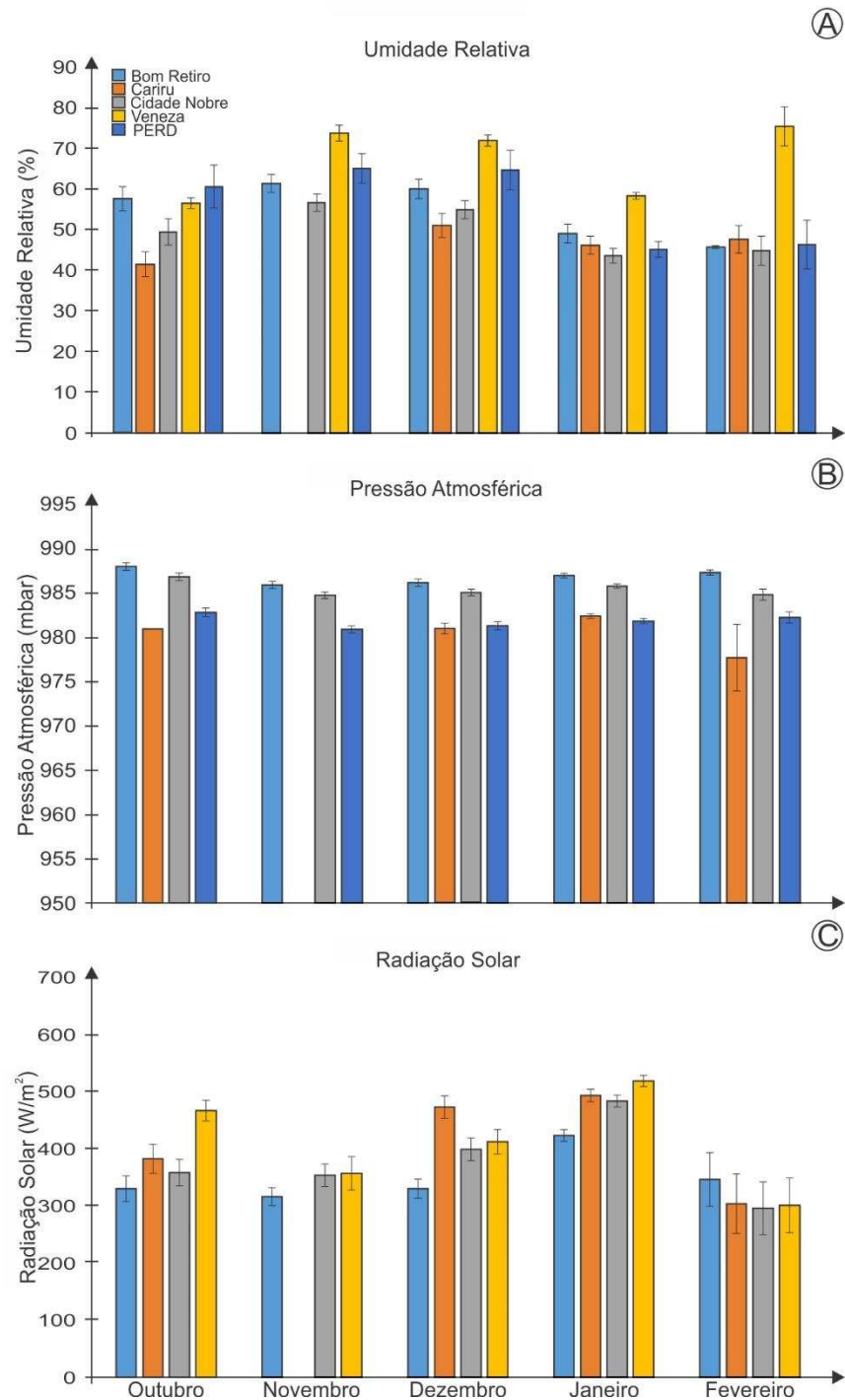


Figura 3 - Dados meteorológicos dos locais amostrados. A. Médias mensais de umidade relativa. B. Médias mensais de pressão atmosférica. C. Médias mensais de radiação solar global.

Tabela 2 - Valores máximo e mínimo de Umidade Relativa - UR, Pressão Atmosférica - PA e Radiação Solar - RS dos locais amostrados. Valores de Umidade Relativa expressos em (%), Pressão Atmosférica em (mbar) e Radiação Solar em (W/m^2).

		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bom Retiro	UR (%)	35,4	81,7	42,3	86,2	40,3	89,5	25,7	79,0	45,4	46,2
	PA (mbar)	983,9	991,4	981,0	989,5	982,9	990,5	984,5	989,3	986,6	987,8
	RS (W/m^2)	137,3	497,8	161,2	458,9	116,3	492,0	271,8	516,5	265,6	445,3
Cariuru	UR (%)	29,9	68,7	0,0	0,0	36,0	74,8	25,0	68,1	40,1	59,4
	PA (mbar)	946,3	986,7	0,0	0,0	978,6	985,8	979,5	984,7	939,9	984,5
	RS (W/m^2)	208,2	483,9	0,0	0,0	367,6	590,1	309,2	603,5	73,6	546,4
Cidade Nobre	UR (%)	29,5	79,2	39,9	81,7	34,6	87,0	25,4	65,7	36,4	57,0
	PA (mbar)	982,7	990,3	980,0	988,4	982,0	989,2	983,3	988,2	982,0	988,0
	RS (W/m^2)	132,2	515,8	177,0	554,7	137,8	540,5	317,3	560,7	84,2	505,5
Veneza	UR (%)	48,7	60,0	57,4	87,2	58,9	90,9	48,3	69,2	53,3	93,5
	RS (W/m^2)	404,5	539,5	175,5	544,6	150,2	588,9	348,7	589,0	85,6	548,4
PERD	UR (%)	31,8	80,0	48,5	90,0	52,5	89,5	37,5	50,5	39,0	53,8
	PA (mbar)	976,0	986,7	976,0	984,7	977,5	986,7	978,3	984,7	980,0	984,0

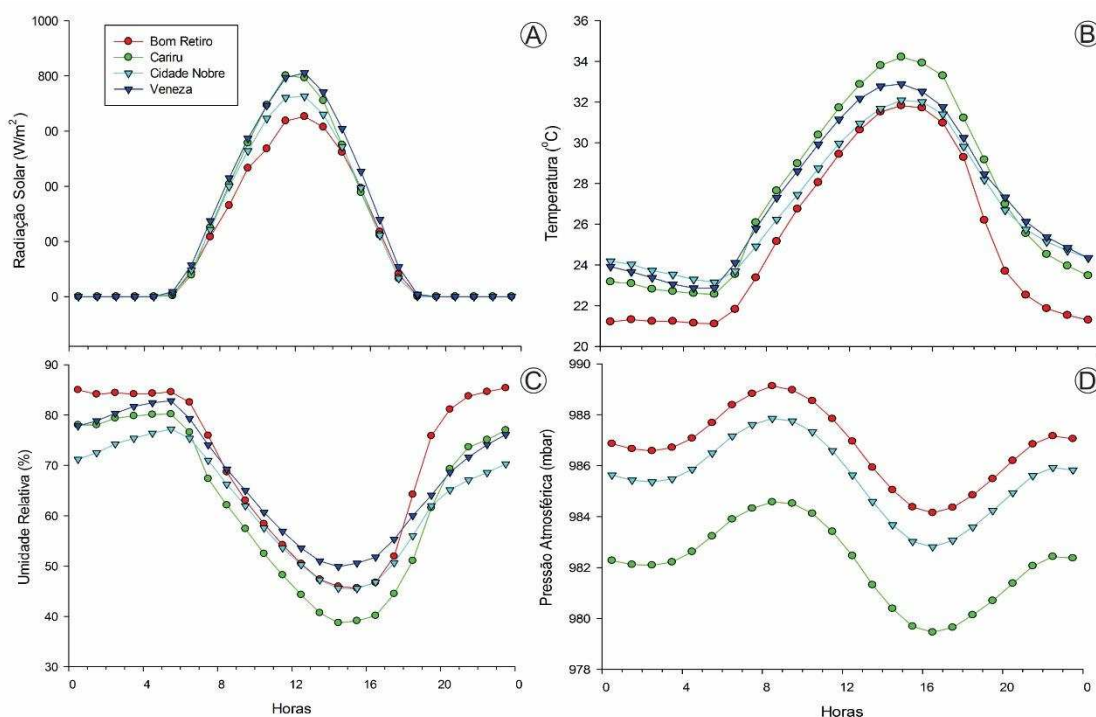


Figura 4 - Média horária de dados meteorológicos das quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga durante o período experimental. A - Radiação Solar. B - Temperatura. C - Umidade Relativa. D - Pressão Atmosférica.

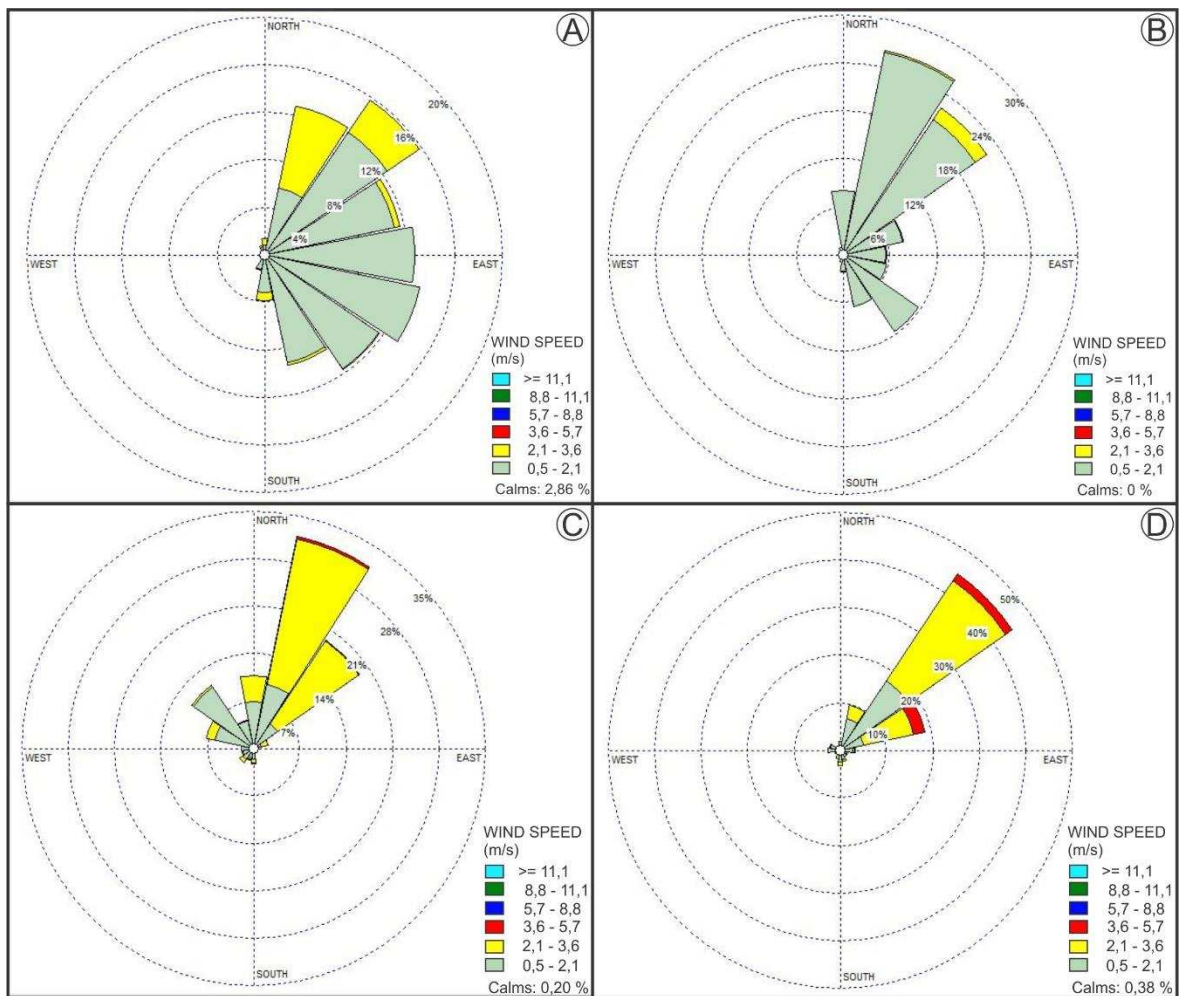


Figura 5 - Direção e velocidade do vento (m/s) nos bairros da cidade de Ipatinga durante o período de amostragem. A - Bom Retiro, B - Cariru, C - Cidade Nobre e D - Veneza.

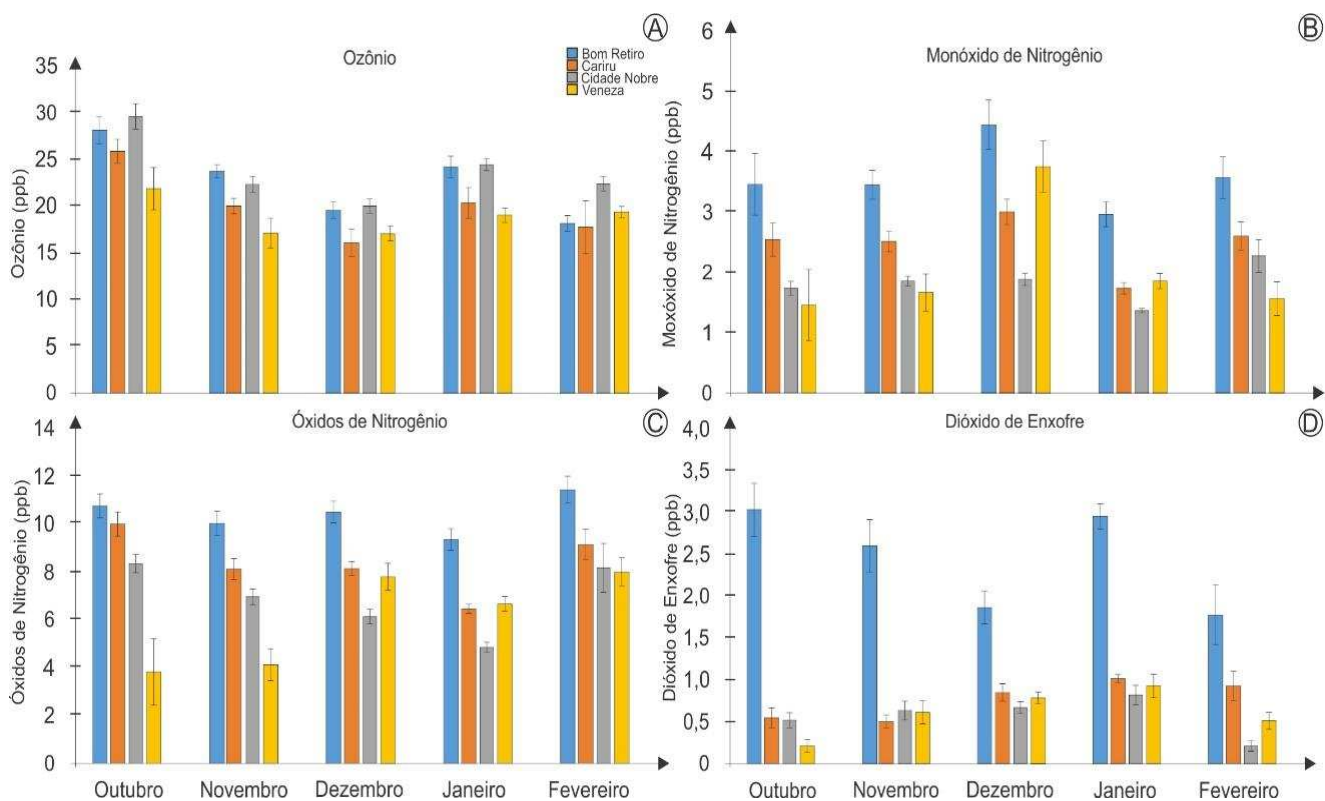


Figura 6 - Dados de poluentes dos locais amostrados. A. Médias mensais de Ozônio. B. Médias mensais de Monóxido de Nitrogênio. C. Médias mensais de Óxidos de Nitrogênio. D. Médias mensais de Dióxido de Enxofre.

Tabela 3 - Valores máximo e mínimo de Ozônio - O_3 , Monóxido de Nitrogênio - NO, Óxidos de Nitrogênio - NO_x e Dióxido de Enxofre - SO_2 dos locais amostrados. Valores expressos em (ppb).

		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bom Retiro	O_3 (ppb)	18	43	16	33	10	30	0	41	13	22
	NO (ppb)	1	12	1	5,4	1,8	11,3	0	4,9	2,3	6,4
	NO_x (ppb)	7	17	4	14,7	5,5	18,2	0	12,5	8,8	15,4
	SO_2 (ppb)	0	5	0	6,2	0,1	4,1	1,5	5,4	0,5	4,7
Cariru	O_3 (ppb)	16	37	10	28	0	27	0	33	0	22
	NO (ppb)	1	7	1	5,1	1,4	5,7	1	3,6	1,2	3,8
	NO_x (ppb)	7	16	3	12,9	5,8	12,1	4,3	9,2	5,6	12,4
	SO_2 (ppb)	0	2	0	1,9	0,1	2,9	0,4	1,6	0,1	2
Cidade Nobre	O_3 (ppb)	19	45	12	31	14	30	18	37	18	27
	NO (ppb)	1	4	1	3,1	1	3,2	1	2,1	0,9	4
	NO_x (ppb)	6	12	4	12,7	2,9	11,9	3,4	8,3	2,9	13,3
	SO_2 (ppb)	0	2	0	2,9	0	1,4	0	2,7	0	0,7
Veneza	O_3 (ppb)	0	33	0	25	10	29	11	27	17	23
	NO (ppb)	0	10	0	5,4	1,6	11,4	0,8	3,8	0,5	3,9
	NO_x (ppb)	0	22	0	10,6	3,9	17,5	3,5	11,6	5,4	11,6
	SO_2 (ppb)	0	1	0	3,1	0	2	0,3	3,3	0,1	1

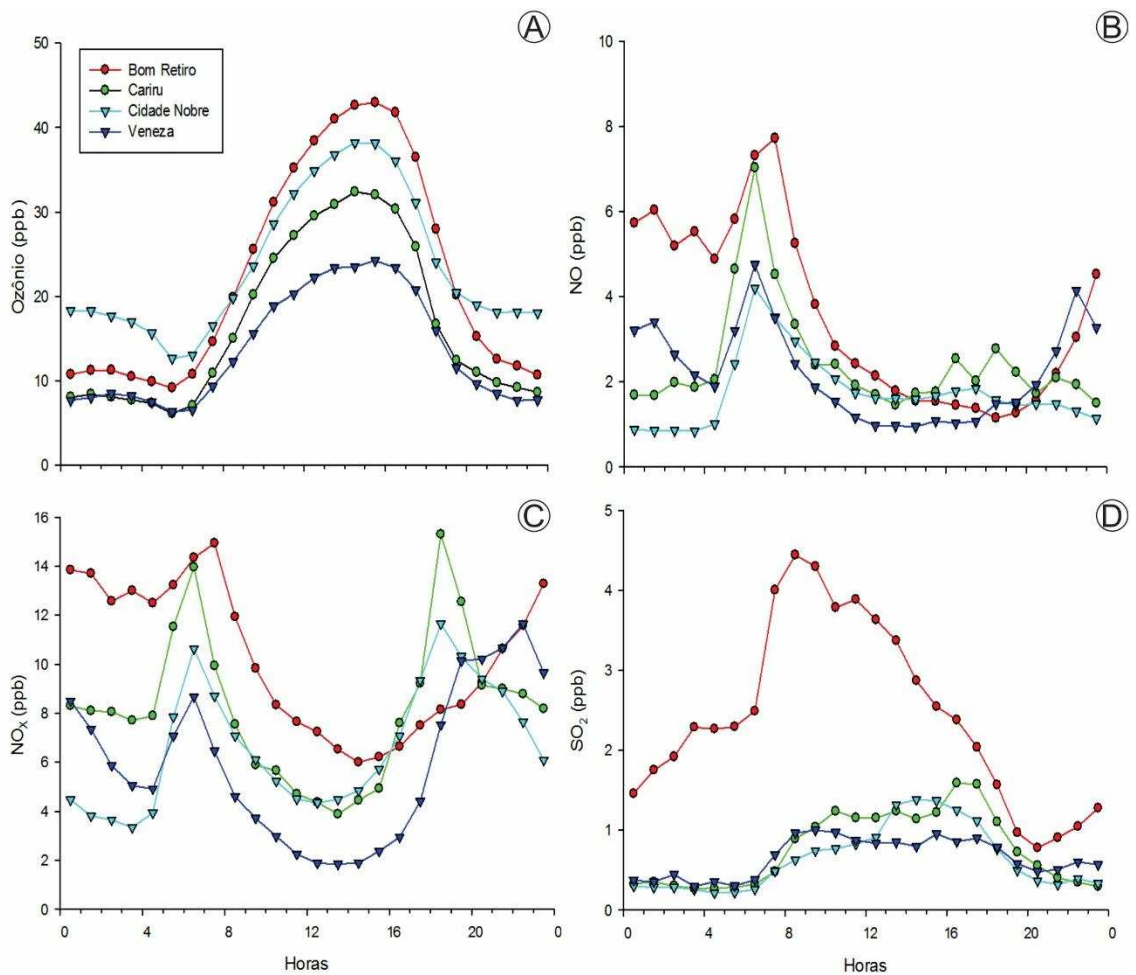


Figura 7 - Variação horária de poluentes nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar na cidade de Ipatinga durante o período experimental. A - Ozônio, B - Monóxido de Nitrogênio, C - Óxidos de Nitrogênio, D - Dióxido de Enxofre.

Tabela 4 - Número de registros horários e diários de concentração de ozônio na cidade de Ipatinga, acima de níveis aceitáveis para a vegetação segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000).

Bairro	Número de registros horários de [O ₃] acima de 40 ppb	Número de dias com [O ₃] acima do permitido
Bom Retiro	443	84
Cariru	221	46
Cidade Nobre	250	57
Veneza	132	29

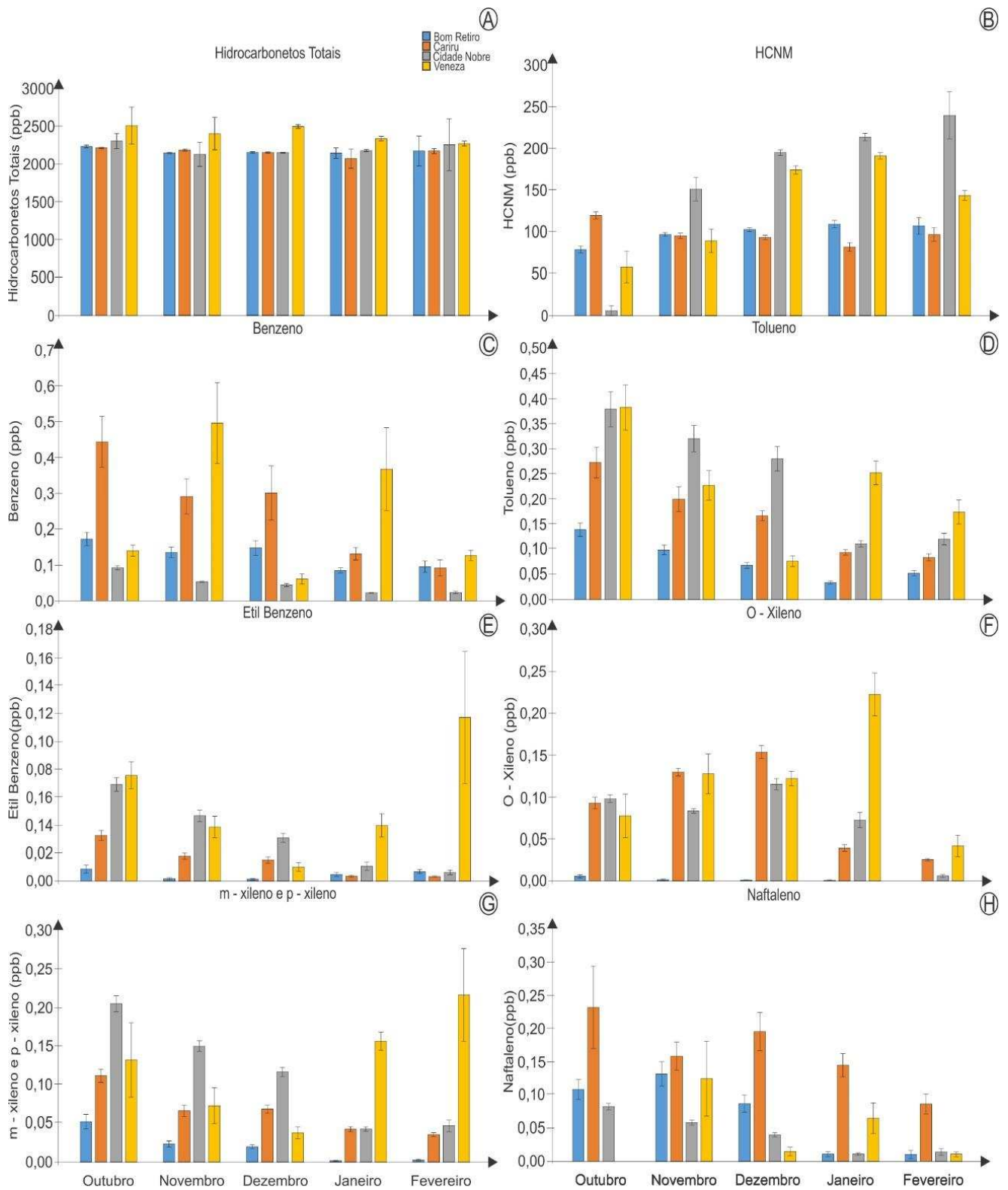


Figura 8 - Dados de poluentes dos locais amostrados. A - Hidrocarbonetos Totais, B - Hidrocarbonetos não Metânicos, C - Benzeno, D - Tolueno, E - Etil Benzeno, F - Orto - Xileno, G - Meta e Para Xileno, H - Naftaleno.

Tabela 5 - Valores máximo e mínimo de Hidrocarbonetos Totais - HT, Hidrocarbonetos não Metânicos - HCNM, Benzeno - B, Tolueno - T, Etil Benzeno - EB, Orto – Xileno – O - X, Meta e Para Xileno – M - X e P – X e Naftaleno - N dos locais amostrados. Valores expressos em (ppb).

		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bom Retiro	HT	2000,5	2434,8	2045,8	2220	2048,9	2240	0	2229,8	0	2303,4
	HCNM	54	127	74	116	79	138	0	140	0	122
	B	0,07	0,47	0	0,4	0	0,51	0	0,17	0,03	0,21
	T	0,06	0,35	0	0,18	0	0,12	0	0,07	0,02	0,08
	EB	0	0,048	0	0,015	0	0,013	0	0,041	0	0,017
	O - X	0	0,036	0	0,024	0	0,008	0	0,014	0	0
	M - X e P - X	0,004	0,186	0	0,082	0	0,056	0	0,009	0	0,009
	N	0,002	0,234	0	0,417	0	0,352	0	0,083	0	0,073
Cariru	HT	2137,7	2306,7	20157	2348,2	2012	2280	0	2155,3	2041	2406,1
	HCNM	91	164	52	125	69	130	0	105	75	179
	B	0	1,26	0,03	1,36	0,07	2,16	0	0,55	0,05	0,28
	T	0	0,67	0,06	0,87	0,07	0,33	0	0,17	0,05	0,12
	EB	0	0,068	0	0,048	0,002	0,058	0	0,013	0,001	0,006
	O - X	0	0,177	0,077	0,19	0,106	0,319	0	0,1	0,02	0,034
	M - X e P - X	0	0,187	0,017	0,223	0,03	0,162	0	0,073	0,019	0,049
	N	0	1,464	0,002	0,452	0,021	0,685	0,012	0,377	0,019	0,222
Cidade Nobre	HT	0	2310	0	2199,3	2093	2274,2	2020	2337,4	0	2360
	HCNM	0	141	0	227	168	243	168	264	0	242
	B	0,05	0,17	0,04	0,08	0,03	0,17	0,01	0,05	0,01	0,05
	T	0,18	0,9	0,14	0,76	0,1	0,67	0,05	0,19	0,04	0,17
	EB	0,033	0,109	0,009	0,106	0,005	0,069	0	0,082	0	0,018
	O - X	0,066	0,148	0,06	0,111	0,071	0,211	0,002	0,169	0	0,02
	M - X e P - X	0,135	0,313	0,08	0,269	0,064	0,19	0,019	0,083	0,014	0,09
	N	0,04	0,126	0,03	0,117	0,018	0,091	0	0,034	0,002	0,058
Veneza	HT	0	2893,4	0	2810	2282,5	2823,1	2071,8	2930	2101,6	2455,1
	HCNM	0	242	0	222	127	244	129	230	125	173
	B	0	0,23	0	2,55	0	0,25	0,04	2,66	0,06	0,23
	T	0	0,83	0	0,51	0	0,3	0,05	0,75	0,06	0,33
	EB	0	0,158	0	0,182	0	0,071	0	0,222	0	0,416
	O - X	0	0,37	0	0,471	0,072	0,338	0	0,454	0,005	0,12
	M - X e P - X	0	0,76	0	0,437	0,001	0,185	0,046	0,314	0,024	0,588
	N	0	0	0	1,662	0	0,14	0	0,643	0	0,038

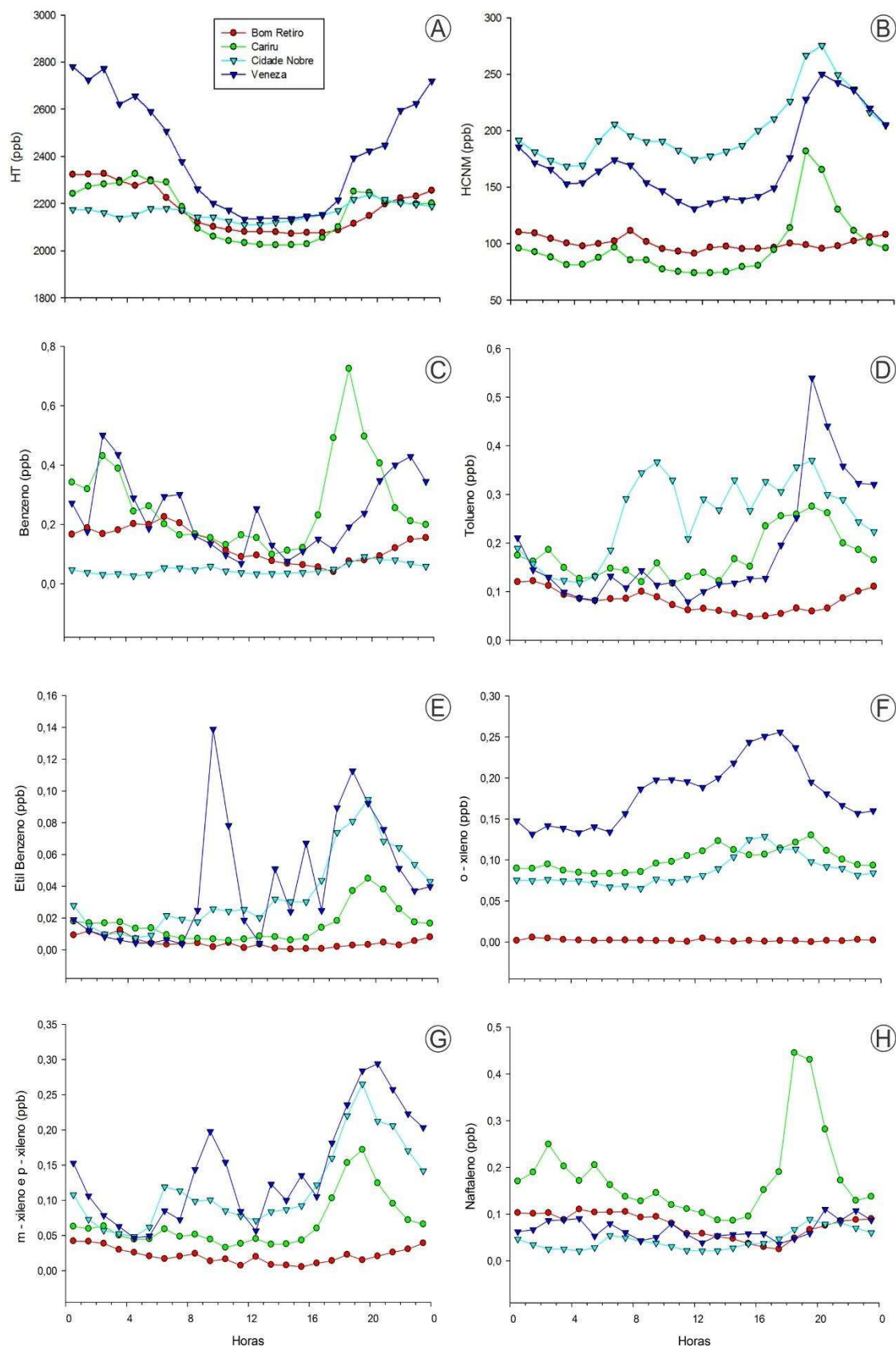


Figura 9 - Variação horária na concentração de poluentes nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar na cidade de Ipatinga durante o período experimental. A - Hidrocarbonetos Totais, B - Hidrocarbonetos não Metânicos, C - Benzeno, D - Tolueno, E - Etil Benzeno, F - Orto - Xileno, G - Meta e Para Xileno, H - Naftaleno.

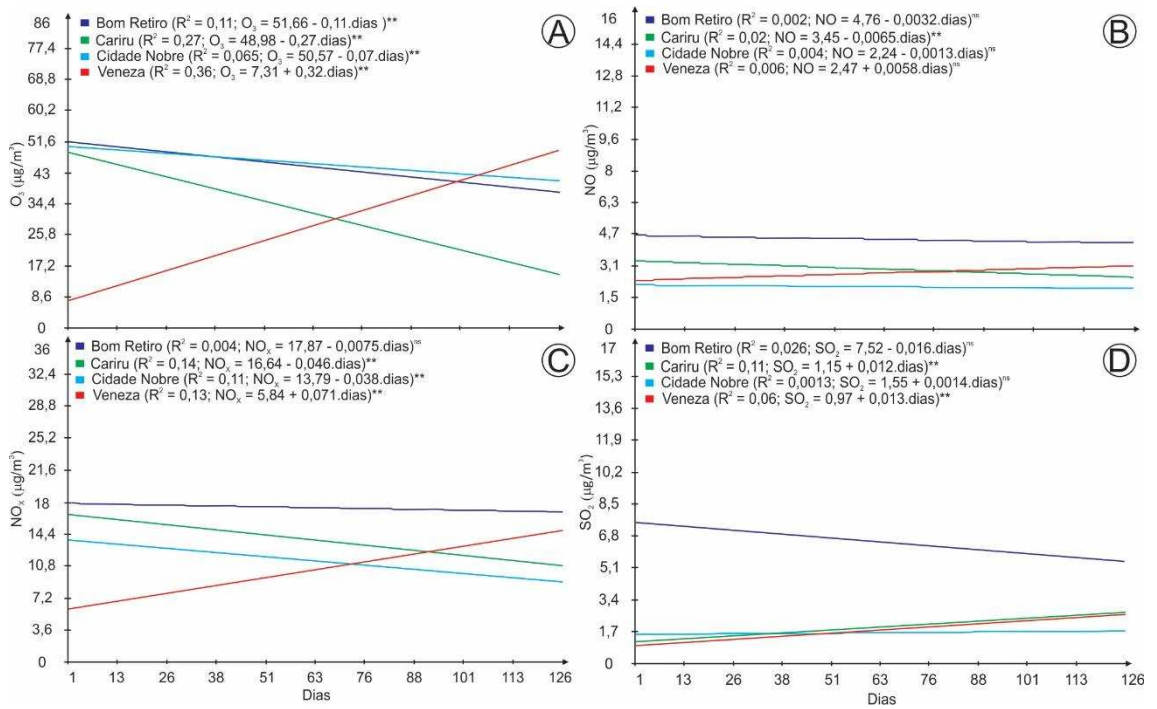


Figura 10 - Regressão polinomial entre a variação média na concentração diária de poluentes nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga, ao longo de todo o período experimental. A - Ozônio, B - Monóxido de Nitrogênio, C - Óxidos de Nitrogênio, D - Dióxido de Enxofre.

^{ns} - Estatisticamente não significativo

** - Estatisticamente significativo

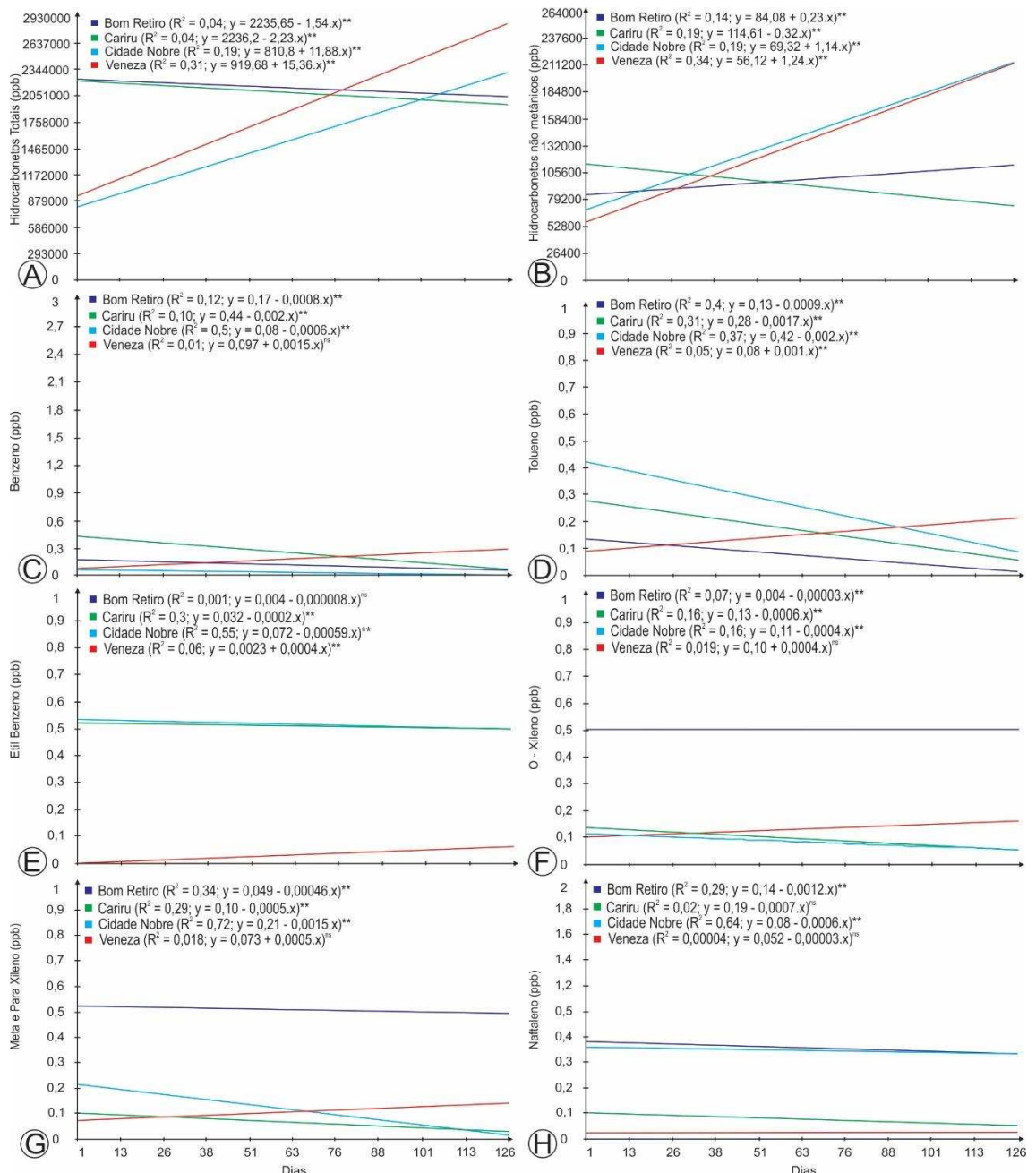


Figura 11 - Regressão polinomial entre a variação média na concentração diária de poluentes nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga, ao longo de todo o período experimental. A - Hidrocarbonetos Totais, B - Hidrocarbonetos não Metânicos, C - Benzeno, D - Tolueno, E - Etil Benzeno, F - Orto - Xileno, G - Meta e Para - Xileno, H - Naftaleno.

^{ns} - Estatisticamente não significativo

** - Estatisticamente significativo

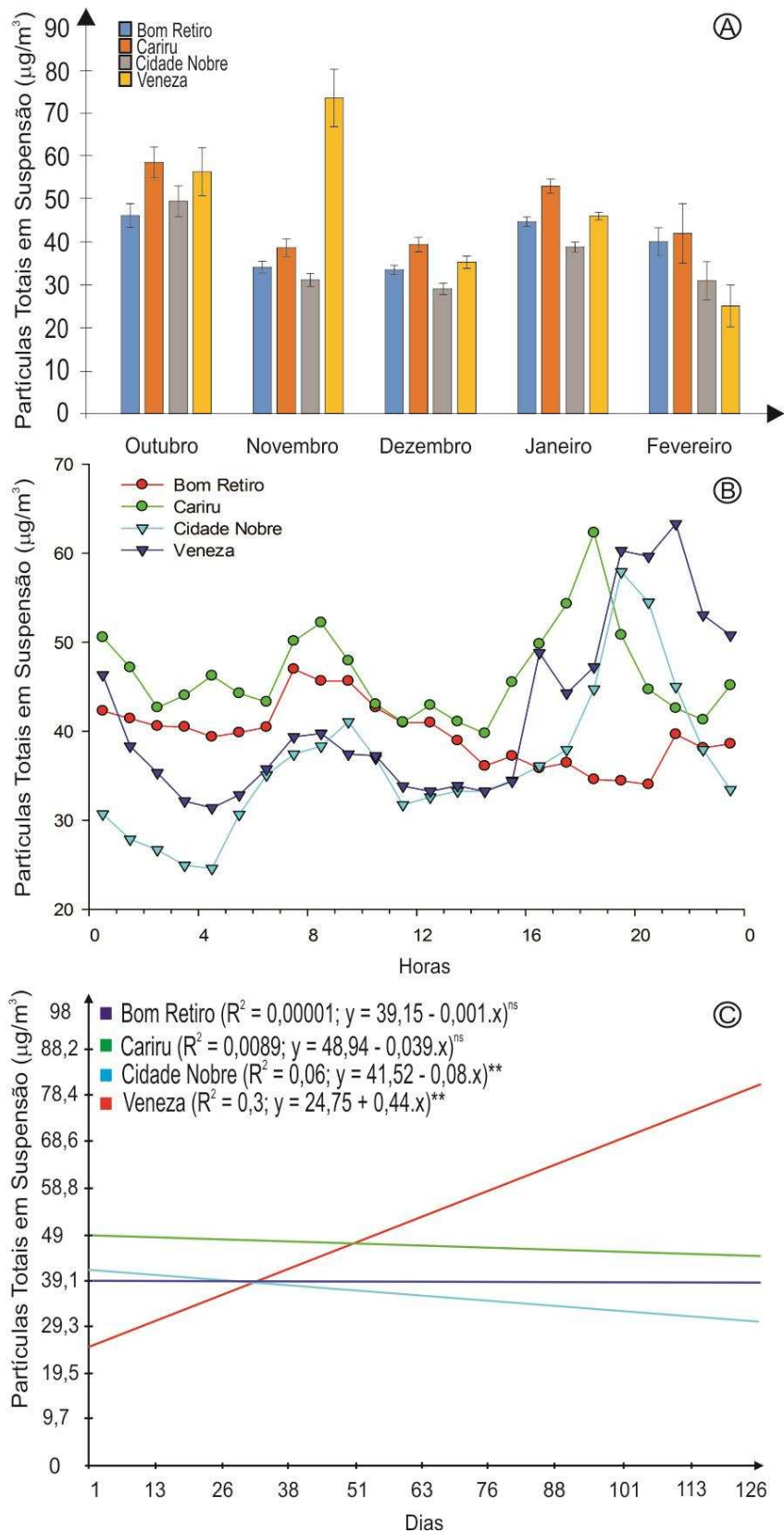


Figura 12 - Variação média na concentração de Partículas Totais em Suspensão nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga, durante todo o período experimental. A - Média mensal. B - Média horária. C - Variação diária.

Tabela 6 - Valores máximo e mínimo de Partículas Totais em Suspensão (PTS). Valores expressos em ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bom Retiro	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26,4	77,4	19,5	50	17,8	44,9	36,2	59,1	27,7	57,5
Cariru	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31,4	97	15,8	64,4	17,6	58,2	35,2	78,5	17,6	79,1
Cidade Nobre	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26,1	82	17,7	46,8	12,7	51,3	27	54,3	11	59
Veneza	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	48,7	60	57,4	87,2	58,9	90,9	48,3	69,2	53,3	93,5

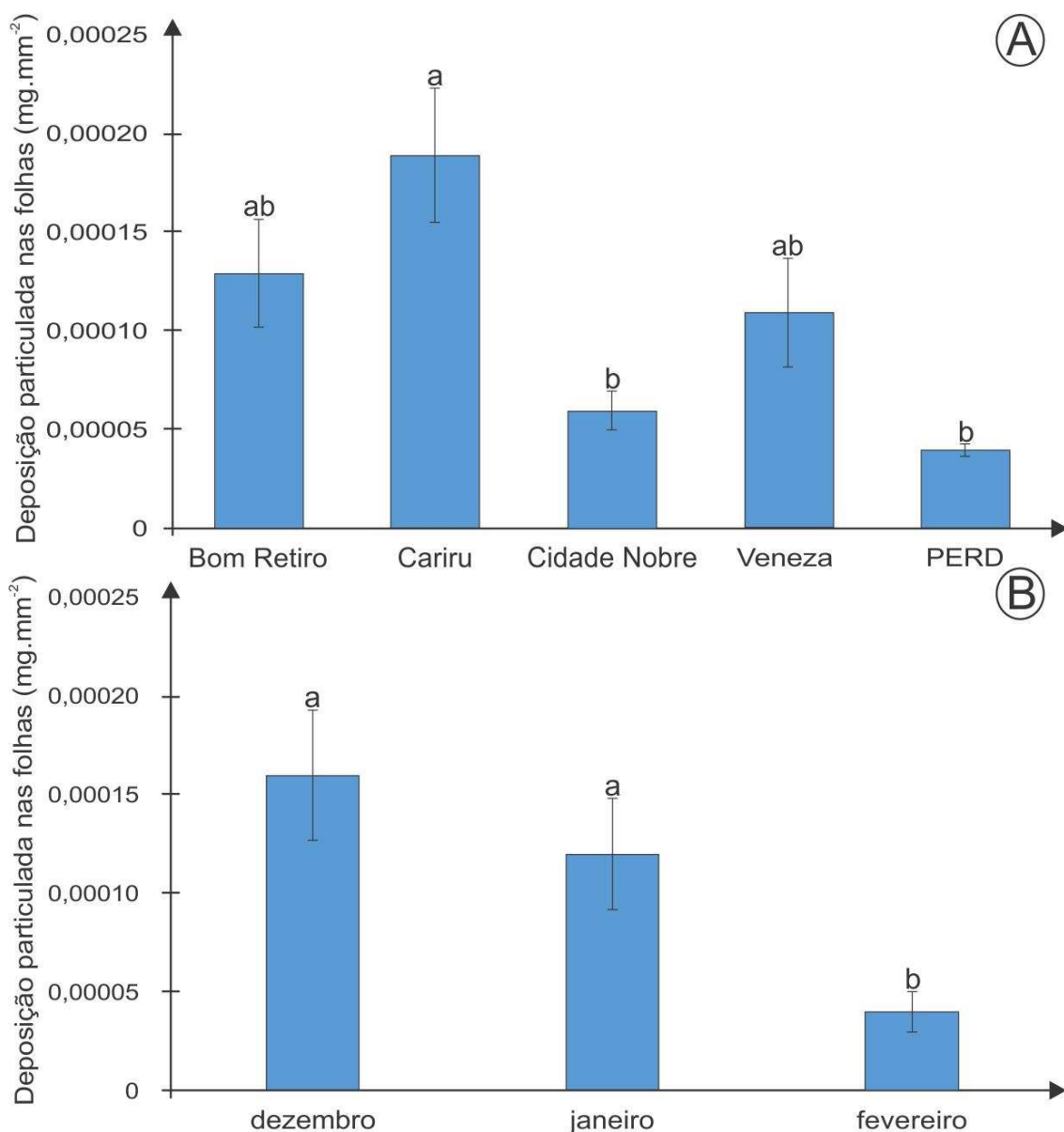


Figura 13 - Deposição particulada em folhas de *Joannesia princeps* expostas à campo. A - Média de material particulado foliar por local. B - Média de material particulado foliar por mês. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade ($p < 0,05$).

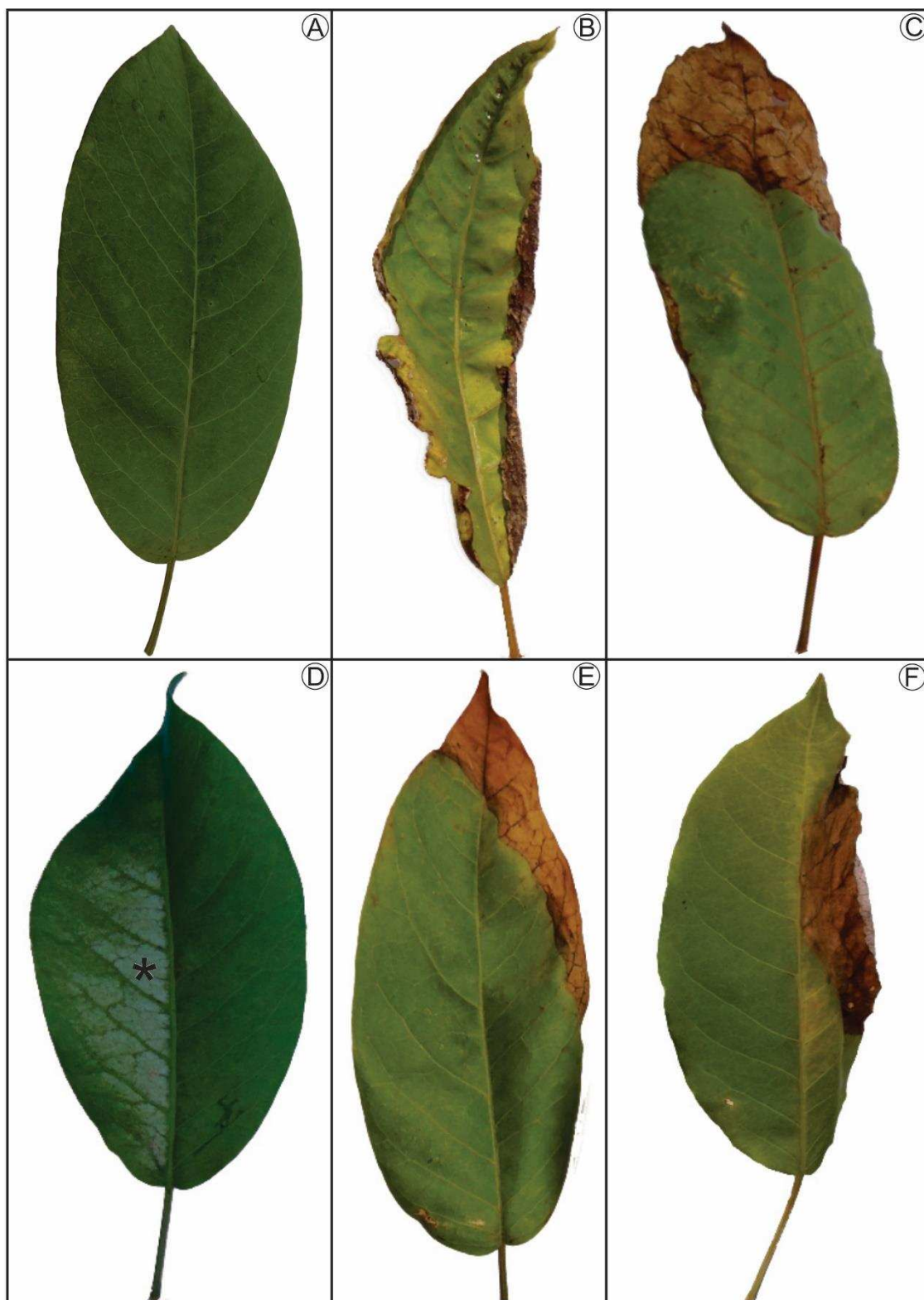


Figura 14 - Sintomas foliares exibidos por indivíduos de *Joannesia princeps* expostos à campo. A - PERD, B - Bom Retiro, C e D - Cariru, E - Cidade Nobre, F - Veneza. Branqueamento foliar (*).

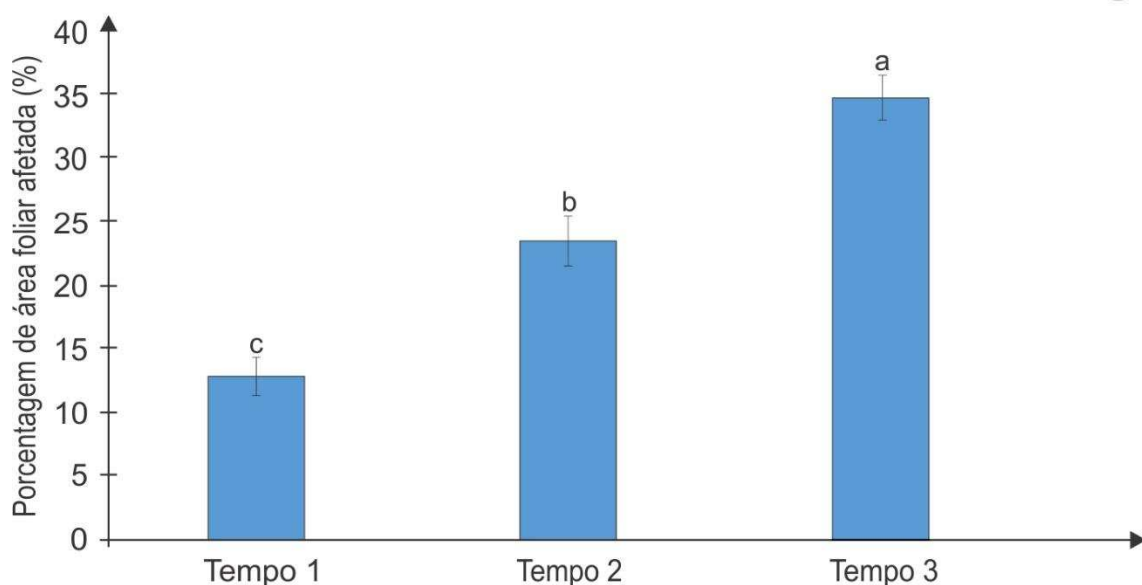
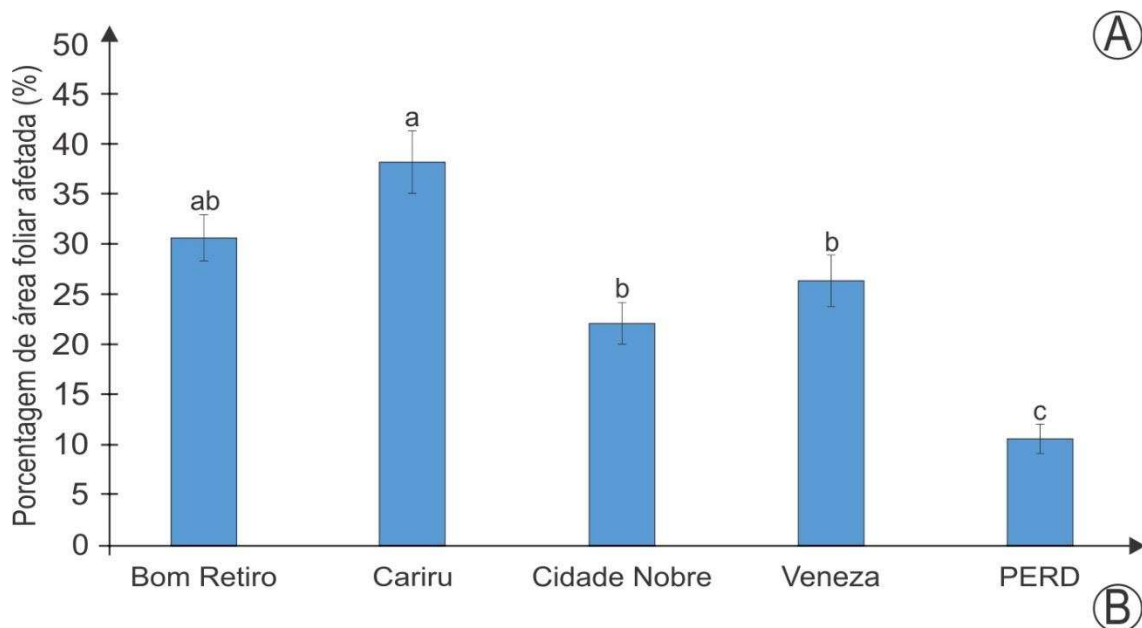


Figura 15 - Porcentagem média dos sintomas visuais foliares dos indivíduos de *Joannesia princeps* expostos à campo. A - Porcentagem de sintomas visuais foliares por local. B - Porcentagem de sintomas visuais foliares por tempo de exposição das plantas à campo. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($p < 0,05$). Tempo 1 (17 a 21/10/2014), Tempo 2 (11 a 14/11/2014) e Tempo 3 (01 a 04/12/2014).

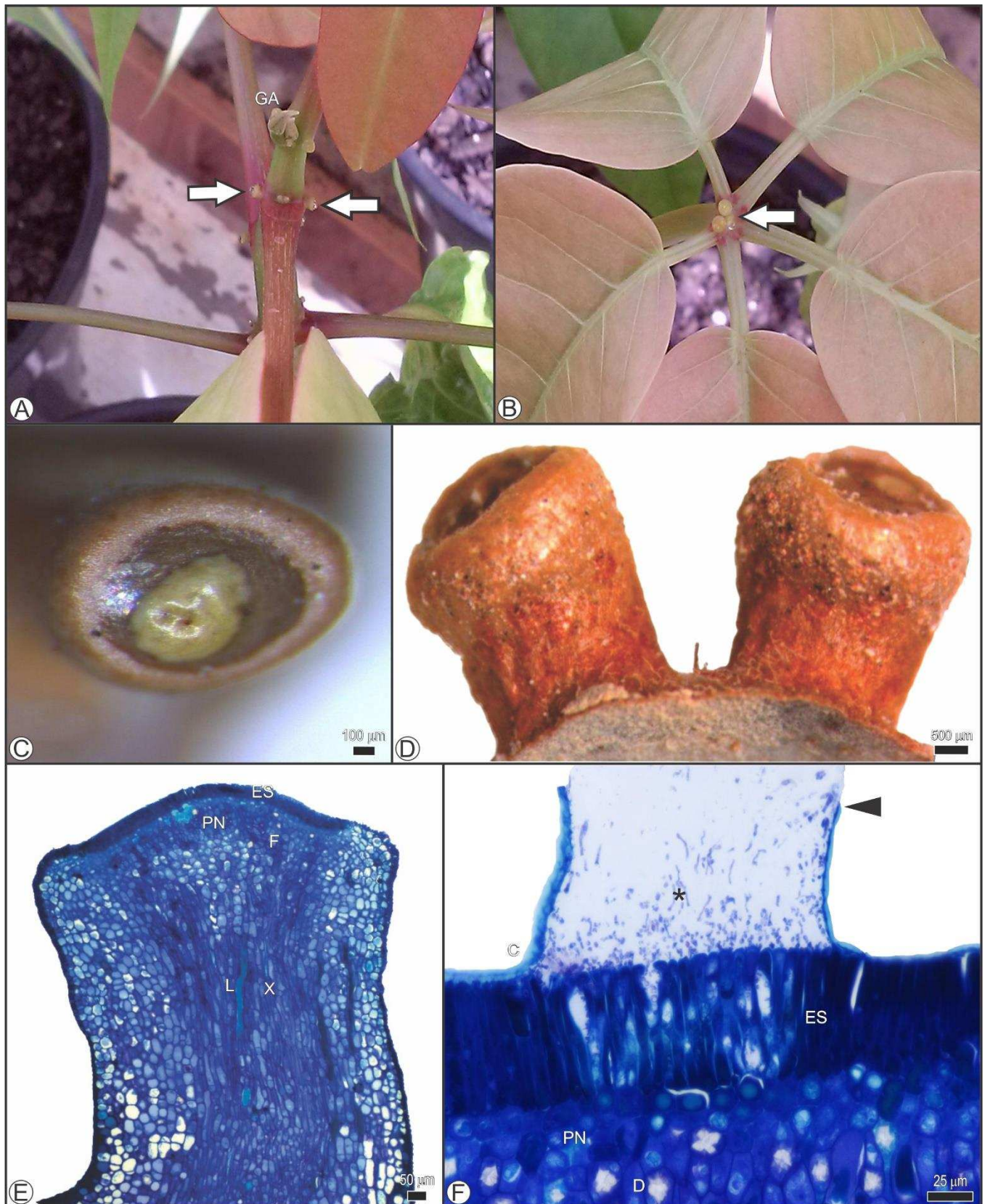


Figura 16 - Localização, morfologia e anatomia de nectários extraflorais de *Joannesia princeps*. A - B. Nectários da base e ápice peciolar (setas). C - D. Nectários da base e ápice peciolar, em que é possível observar a sua morfologia e a distensão da cutícula em um nectário da base peciolar. E. Anatomia de nectário do ápice peciolar. F. Detalhe da liberação de secreção e rompimento da cutícula (ponta de seta). GA, Gema Apical; C, Cutícula; ES, Epiderme Secretora; PN, Parênquima de Nectarífero; F, Floema; X, Xilema; L, Laticífero; D, Drusa.

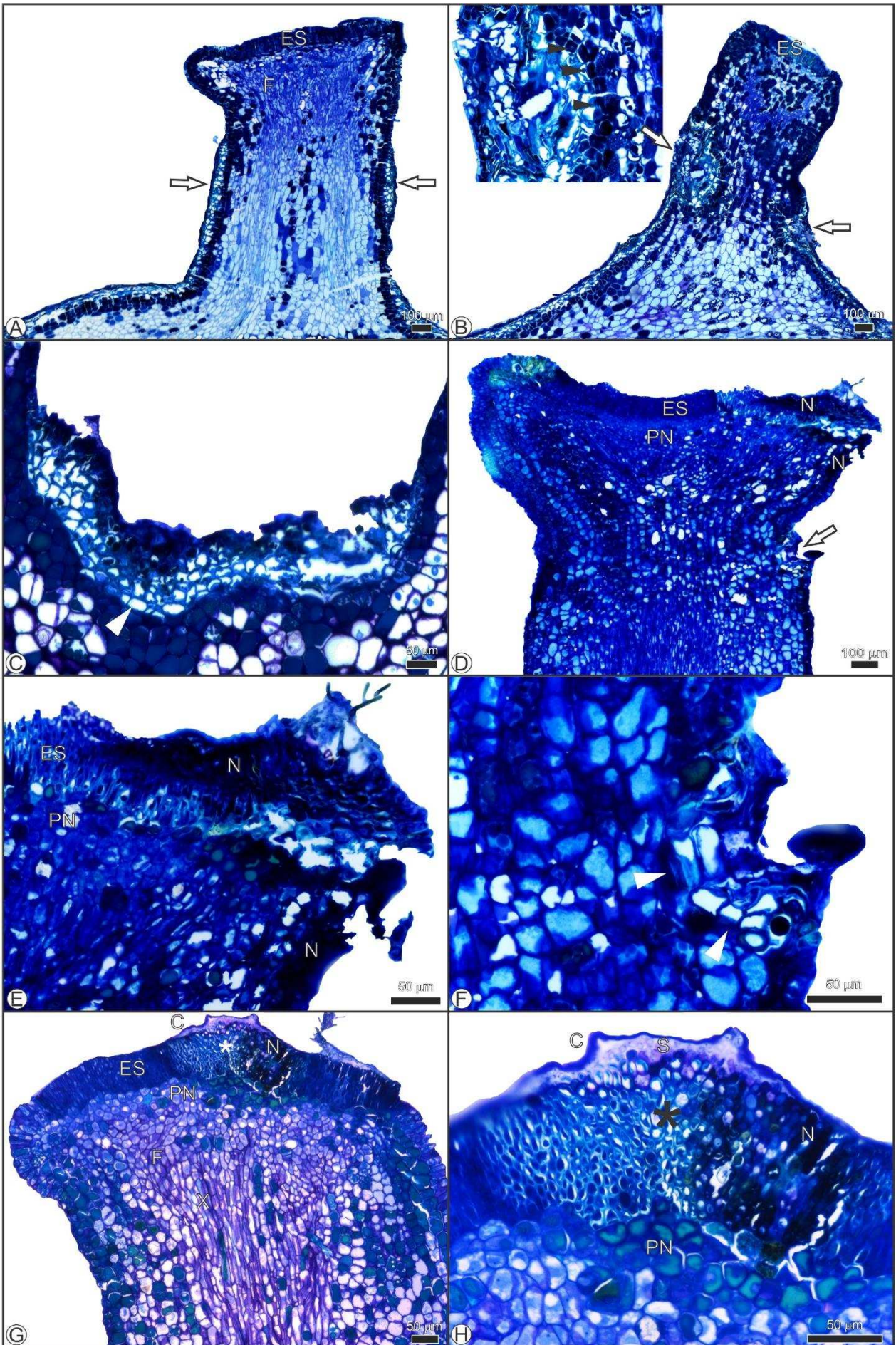


Figura 17 - Danos anatômicos encontrados em nectários extraflorais de *Joannesia princeps* expostos às condições de campo. A - D e F. Presença de tecido de cicatrização (setas) onde é possível observar a formação de uma faixa de células parenquimáticas desdiferenciadas de forma retangular achatada radialmente que formam o tecido de cicatrização (pontas de seta pretas em B). Pode-se observar também células suberizadas ou lignificadas, em séries radiais e compactamente arranjadas em C e F (pontas de setas). D - E, G - H. Presença de necroses na epiderme e epiderme secretora (N). G - H. Hiperplasia de células da epiderme secretora (*). A - Bom Retiro. B, D, E e F - Veneza. C - Cidade Nobre. G e H - PERD. C, Cutícula; E, Epiderme; ES, Epiderme Secretora; PN, Parênquima Nectarífero; F, Floema; X, Xilema; N, Necrose; S, Secreção.

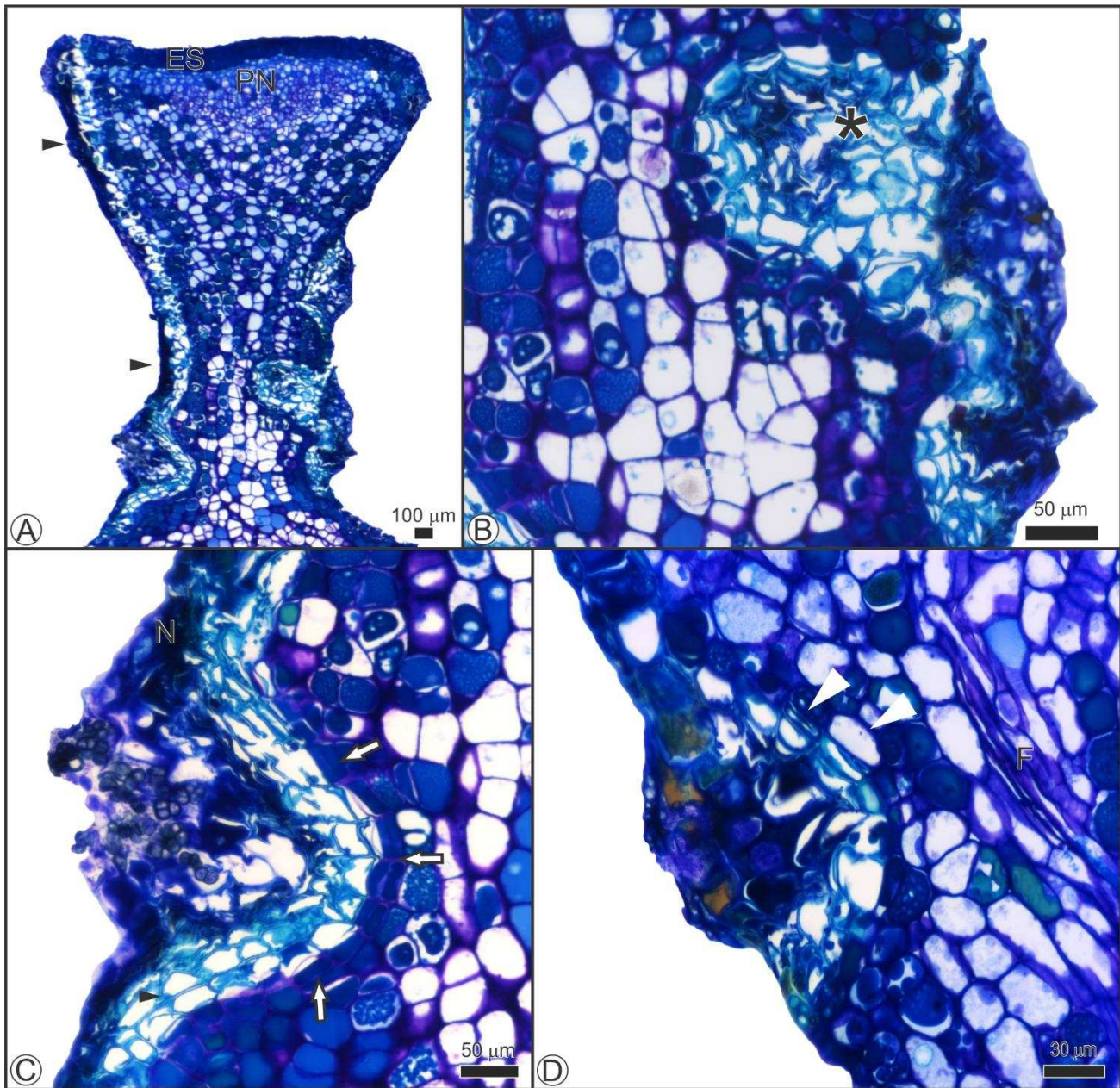


Figura 18 - Danos anatômicos encontrados em nectários extraflorais de *Joannesia princeps* expostos no bairro Cariru. A. Presença de tecido de cicatrização e necroses (pontas de seta pretas). B - D. Observa-se em maior detalhe células suberizadas ou lignificadas (* e ponta de seta branca). Em séries radiais e compactamente arranjadas podem ser observadas uma faixa de células parenquimáticas desdiferenciadas de forma retangular achatada radialmente que formam o tecido de cicatrização (setas). ES, Epiderme Secretora; PN, Parênquima Nectarífero; N, Necrose; F, Floema.

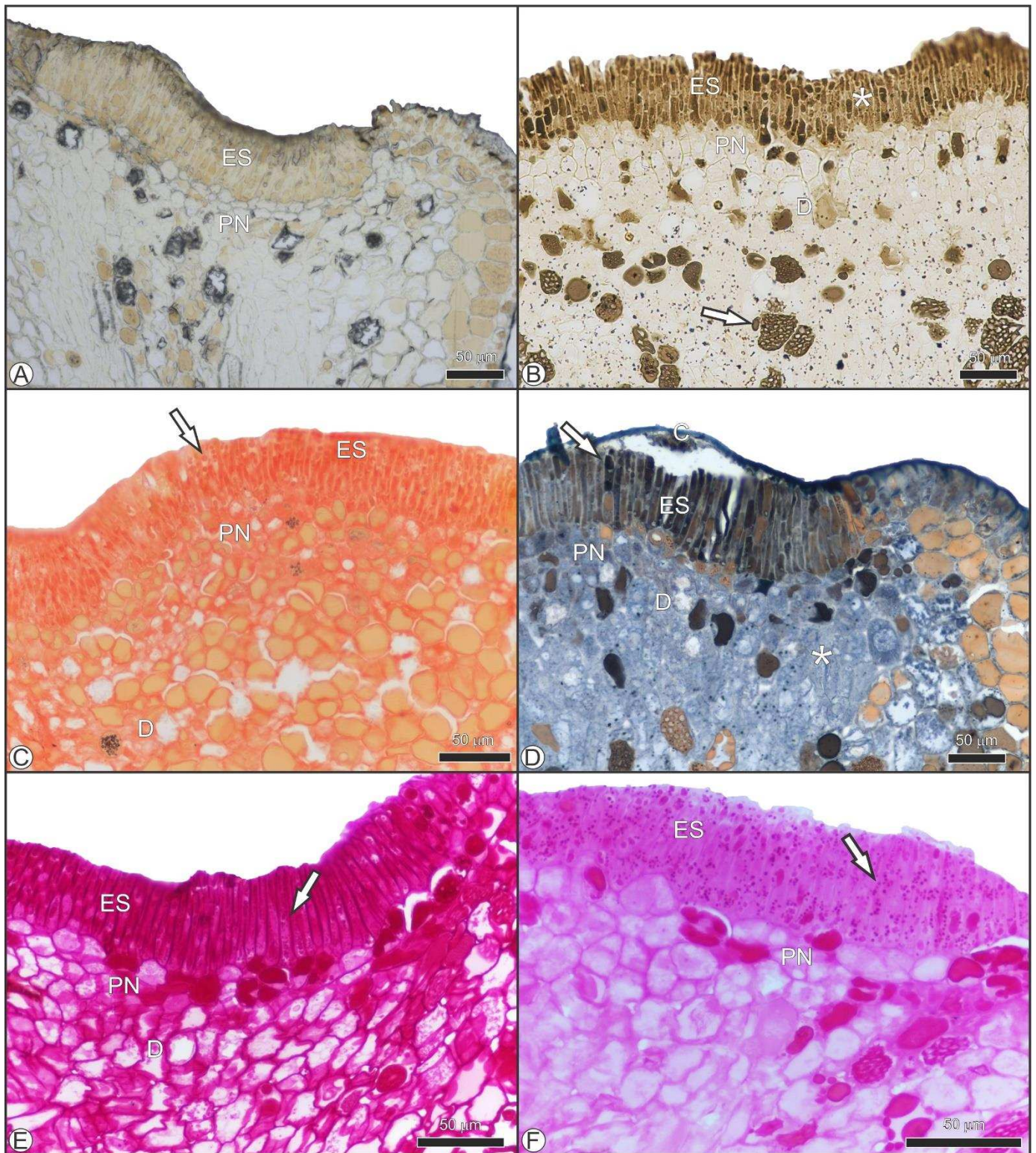


Figura 19 - Caracterização histoquímica de nectários extraflorais de *Joannesia princeps* da estante referência no PERD. Secções longitudinais de nectários submetidos a diversos testes histoquímicos. A. Branco. B. Secção corada com cloreto férrico onde os compostos fenólicos coram-se de marrom e negro (seta e asterisco). C. Xilidine Ponceau com as proteínas coradas de vermelho (pequenos corpos proteicos podem ser observados na epiderme secretora. Seta). D. Sudan Black B com os lipídios corados de azul a negro (seta na epiderme secretora e asterisco no parênquima nectarífero). E - F. Reagente de Schiff/ ácido periódico – PAS, polissacarídeos neutros corados de magenta, pequenos grãos de amido podem ser observados nas células da epiderme secretora (setas). F. controle do PAS. C, Cutícula; ES, Epiderme Secretora; PN, Parênquima de Nectarífero; D, Drusa.

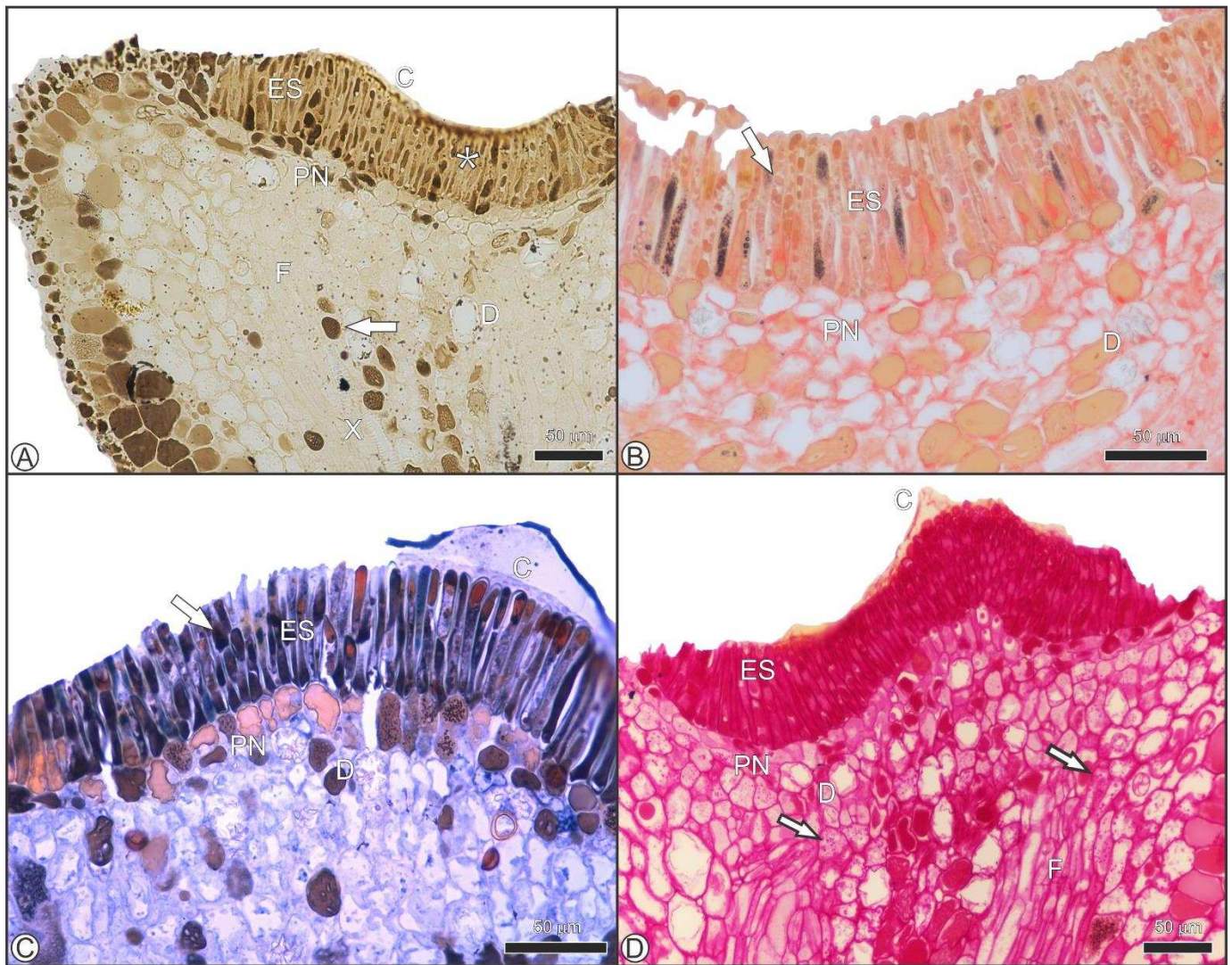


Figura 20 - Caracterização histoquímica de nectários extraflorais de *Joannesia princeps* expostos na cidade de Ipatinga (Secções longitudinais). A. Cloreto férrico, os compostos fenólicos corados de marrom e negro (asterisco e seta). B. Xilidine ponceau com as proteínas coradas de vermelho (pequenos corpos proteicos podem ser observados na epiderme secretora. Seta). C. Sudan Black B com os lipídios corados de azul a negro (seta). D. Reagente de Schiff/ ácido periódico – PAS com polissacarídeos neutros corados de magenta. Pequenos grãos de amido podem ser observados nas células do parênquima nectarífero (setas). A - D. Bom Retiro. B - C. Cariru. C, Cutícula; ES, Epiderme Secretora; PN, Parênquima Nectarífero; F, Floema; X, Xilema; S, D, Drusa.

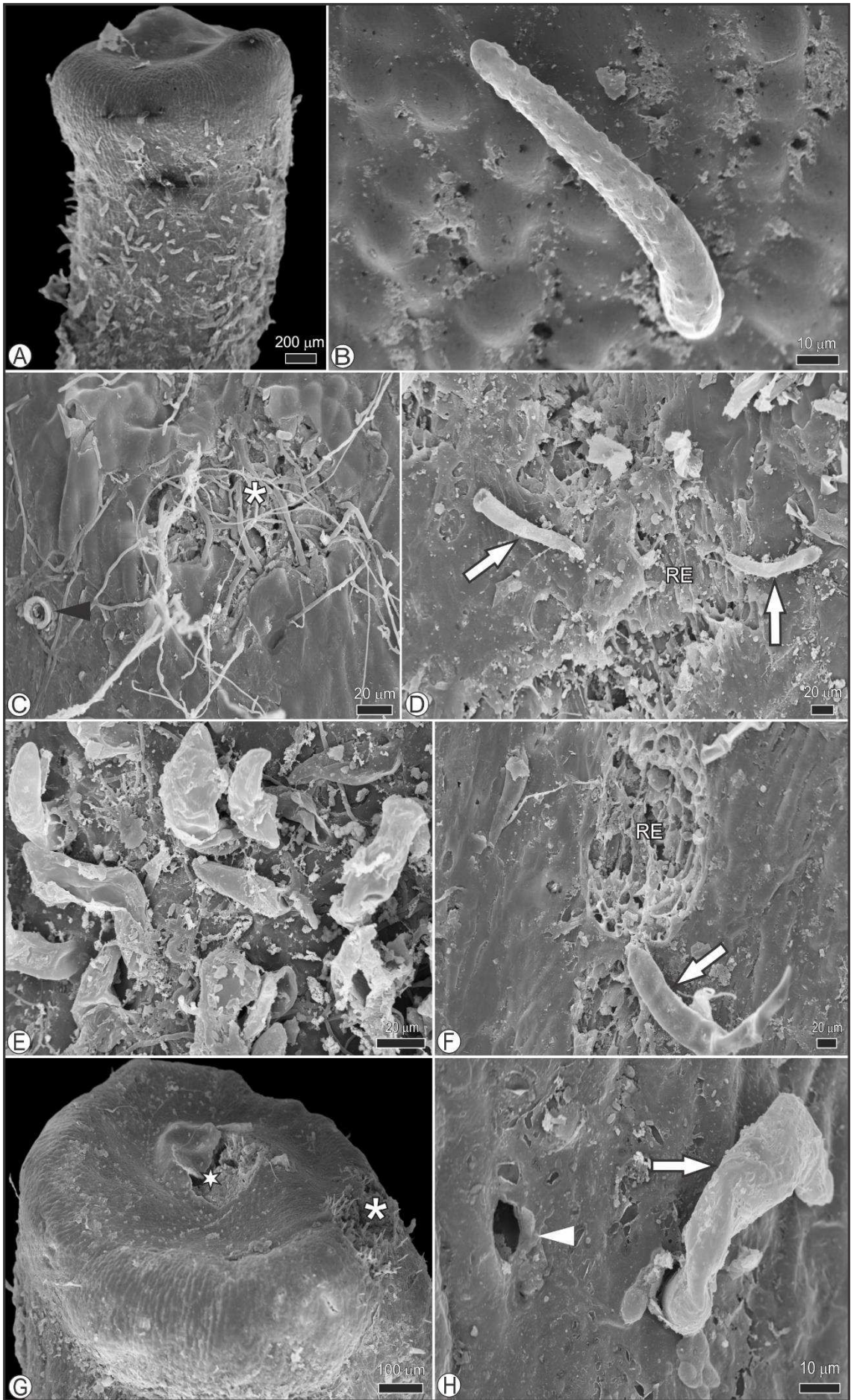


Figura 21 – A - B. Nectário da base peciolar de plantas expostas no PERD em que se observam células epidérmicas túrgidas, de contorno evidente, tricoma túrgido com ornamentação. C - H. Nectários em que se observam rompimento da epiderme e exposição dos tecidos internos (RE) e posterior colonização de fungos (*), tricomas flácidos, desarranjados (setas) e caídos (pontas de seta), rompimento da cutícula (estrela). RE, Ruptura Epidérmica. A - B. PERD. C. bairro Bom Retiro. D - E. bairro Cariru. F. bairro Cidade Nobre. G - H. bairro Veneza.

Tabela 7 - Análise química do substrato utilizado nos vasos para cultivo dos indivíduos de *Joannesia princeps*

N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N
-----%-----						%	
0,52	0,47	0,32	0,92	1,21	0,23	12,16	23,40
Zn	Fe	Mn	Cu	B	pH	Na	
-----ppm-----					(H ₂ O)	(%)	
76	1509	375	19	21,4	5,3	0,032	
Teores de Umidade (%)							
Ao Ar				Estufa 75 °C			
0,36				13,44			

Tabela 8 - Teores de macronutrientes, micronutrientes e metais pesados em folhas de *J. princeps*

Local	N	Ca	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Cd	Cr	Al
	--dag/kg ⁻¹ --		-----mg/kg ⁻¹ -----								
Bom Retiro	1,18 ^{ns}	1,44 ^{ns}	8,14 ^{ns}	338,45 ^A	39,69 ^{ns}	455,79 ^{ns}	1,38 ^{ns}	3,98 ^{ns}	0,05 ^{ns}	10,01 ^A	217,93 ^A
Cariru	1,61 ^{ns}	1,24 ^{ns}	9,76 ^{ns}	152,66 ^B	32,26 ^{ns}	489,56 ^{ns}	0,36 ^{ns}	4,49 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,9 ^{AB}	98,24 ^B
Cidade Nobre	1,52 ^{ns}	1,59 ^{ns}	8,24 ^{ns}	129,89 ^B	35,09 ^{ns}	540,52 ^{ns}	1,23 ^{ns}	3,71 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,32 ^B	165,38 ^{AB}
Veneza	1,57 ^{ns}	1,3 ^{ns}	11,1 ^{ns}	153,23 ^B	33,37 ^{ns}	431,13 ^{ns}	1,38 ^{ns}	3,34 ^{ns}	0,07 ^{ns}	5,24 ^{AB}	142,1 ^B
PERD	1,56 ^{ns}	1,14 ^{ns}	8,81 ^{ns}	85,96 ^B	26,17 ^{ns}	326,35 ^{ns}	0,62 ^{ns}	3,36 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,87 ^B	97,86 ^B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (p < 0,05). (ns = não significativo).

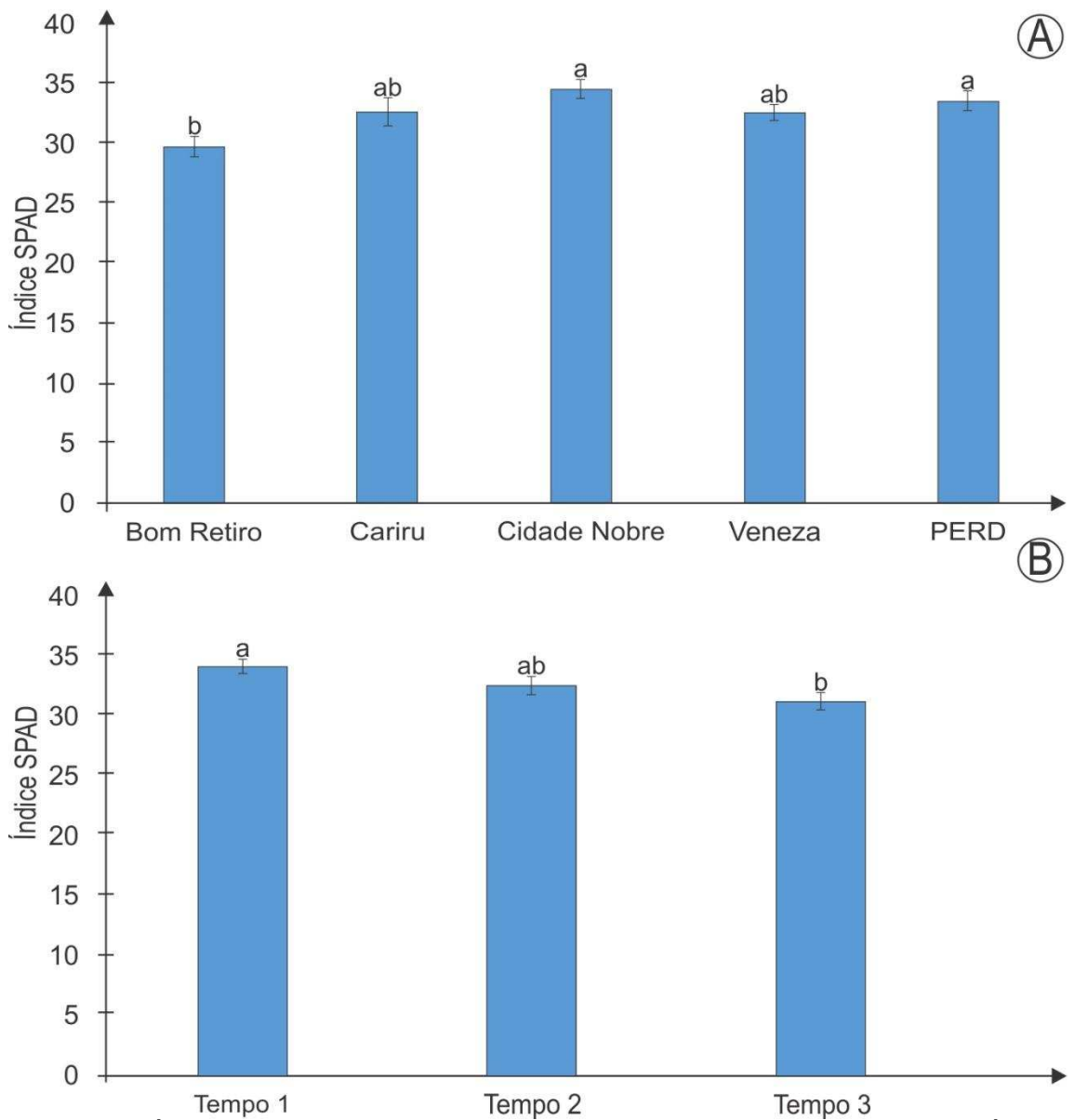


Figura 22 - Índice SPAD de folhas de *Joannesia princeps* expostas à campo. A - Índice SPAD por local de exposição. B - Índice SPAD por tempo de experimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($p < 0,05$). Tempo 1 - 19 a 21/10/2014. Tempo 2 - 11 a 13/11/2014 e Tempo 3 - 01 a 03/12/2014.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJURU, M. G.; UPADHI, F. Effects of Particulate Matter on the Anatomy of some Tropical Plants (*Alchonea cordifolia*, *Musa paradisiaca*, and *Manihot esculenta*). **International Journal of Scientific e Technology Research**. **3 (12)**: p. 304 - 308, 2014.

AKPOVETA, O. V.; OSAKWE, S. A. Determination of Heavy Metal Contents in Refined Petroleum Products. **Journal of Applied Chemistry** **7 (6)**: p. 1-2, 2014.

ARAÚJO, V. M. R. **Monitoramento da qualidade do ar na região do vale do aço – MG**: Municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano. 2012.

ARNDT, U.; SCHLUTER, C. **Wirkungsbezogene erfassung der immissionsbelastung bestimmter waldschadensgebiete in baden-wuerttemberg durch den einsatz von bioindikatoren (aktives monitoring von indikatorpflanzen)**. *Staruskoll. z-Arbeit des PEF, Karlsruhe* 5. bis 7.3, 17-41, 1985.

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

ASHMORE, M. R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. Environment Department, University of York, Heslington, York. **Plant, Cell and Environment** **28**: 949–964, 2005.

PUGLIESE, S. C.; MURPHY, J. G.; GEDDES, J. A.; WANG, J. M. The impacts of precursor reduction and meteorology on ground-level ozone in the Greater Toronto Area. **Atmospheric Chemistry and Physics** **14**: p. 8197–8207, 2014.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC, 2007, 662 p.

BOZZOLA, J. J.; RUSSEL, L. D. **Electron microscopy**. Jones and Bartlett Publishers, Boston. 1992, 542 p.

CALVO, A. I.; ALVES, C.; CASTRO, A.; PONT, V.; VICENTE, A. M.; FRAILE, R. Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. **Atmospheric Research** **120–121**: p. 1–28, 2013.

CANADA - UNITED STATES AIR QUALITY COMMITTEE. Ground - level ozone: occurrence and transport in eastern north america. **Subcommittee 1: Program monitoring and reporting**. 1999.

CARVALHO, G. F. **O ozônio (O₃) troposférico na região de Ipatinga – MG**: Avaliação e descrição do comportamento das concentrações e formação por meio do uso de ferramentas estatísticas. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano. 2012.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Embrapa, Colombo. 2003.

CASTRO, L. N. **Utilização de caracteres morfo-anatômicos na avaliação do efeito de poluentes em *Joannesia princeps* Vell. (Euphorbiaceae)**. Viçosa: UFV, 2008. 34 p.

CASTRO, P. S.; RIBEIRO, J. C.; SOARES, V. P.; BARROS, N. F.; GOMES, L. C. L.; NEVES, J. C. L.; SOUSA, A. L.; GALVÃO, D. M.; VALENTE, O. F. **Estudos preliminares sobre a química da precipitação na região industrial do Vale do Rio Doce – Minas Gerais**. Viçosa, Minas Gerais, SIF/IBDF (Relatório Final). 71p. 1987.

CAPE, J. N. Effects of airborne volatile organic compounds on plants. **Environmental Pollution** **122 (1)**. p. 145–157, 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. 2001, disponível em <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp> acesso em 17/08/2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. 2015a, disponível em <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/solo/informacoes-basicas/vegetacao/64-2/>> acesso em 10/07/2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. 2015b, disponível em <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/solo/informacoesbasicas/vegetacao/efeitos-da-poluicao/>> acesso em 19/11/2015.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO). 2011, disponível em <<http://www.csiro.au/Outcomes/Climate/Reducing-GHG/PollutionOverview.aspx>> Acesso em 25/11/2014.

COMMISSION FOR ENVIRONMENTAL COOPERATION - CEC. Long-Range Transport of Ground-Level Ozone and Its Precursors: Assessment of Methods to Quantify Transboundary Transport Within the Northeastern United States and Eastern Canada. Montreal, Canada. 1997.

COSTELLO, L. R.; PERRY, E. J. MATHENY, N. P.; HENRY, J. M.; GEISEL, P. M. **Abiotic Disorders of Landscape Plants: A Diagnostic Guide**. University of California Agriculture and Natural Resources. 2003, 242 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Estatística Experimental e Matrizes**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. v. 1. 285 p.

DALLMANN, T. R.; ONASCH, T. B.; KIRCHSTETTER, T. W.; WORTON, D. R.; FORTNER, E. C.; HERNDON, S. C.; WOOD, E. C.; FRANKLIN, J. P.; WORSNOP, D. R.; GOLDSTEIN, A. H.; HARLEY, R. A. Characterization of particulate matter emissions from on-road gasoline and diesel vehicles using a soot particle aerosol mass spectrometer. **Atmospheric Chemical Physics Discussions 14**: p. 4007–4049, 2014.

DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. Harcourt academic press, San Diego. 2000, 533 p.

DRUMOND, A. R. S. **Uso do método “moss bag” com *Sphagnum capillifolium* para o biomonitoramento de metais da poluição atmosférica em Ipatinga, Minas Gerais**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano. 2012.

DOUSHANOV, D. L. Control of Pollution in the Iron and Steel Industry. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) 7**: p.1-5, 2004.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1994, disponível em <<http://www.epa.gov/otaq/consumer/05-autos.pdf>> Acesso em 26/11/2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. 212p. 1997.

EPE, E. D. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022)**. Série Estudos da Demanda. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. 2012.

FAHN, A. **Secretory tissues in plants**. London: Academic Press, 1979. 302 p.

FUENTES, J. D.; ROULSTON, T. H.; ZENKER, J. Ozone impedes the ability of a herbivore to find its host. **Environmental Research Letters**, **8**: p 1 - 5, 2013.

GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira** **20**: p. 611-615, 2002.

GUENTHER, A.; GERON, C.; PIERCE, T.; LAMB, B.; HARLEY, P.; FALL, R. Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America. **Atmospheric Environment**, **34**: p. 2205-2230, 2000.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; ALVAREZ, V. H.; MONNERAT, P. H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia** **58 (1)**: p. 209- 210, 1999.

HEIL, M.; MCKEY, D. Protective Ant-Plant Interactions as Model Systems in Ecological and Evolutionary Research. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** **34**: p. 425-553, 2003.

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

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2015a, disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=313130>> acesso em 04/09/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2015b, disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=313130&idtema=139&search=minas-gerais|patinga|frota-2014>> acesso em 04/09/2015.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. 2014, disponível em <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/195?task=view>> acesso em 26/05/2014.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique.** Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York. 1940, 523 p.

KABATA - PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants.** 4th ed. Boca Raton: CRC, 2011, 505 p.

KARNOVSKY, M. J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electronmicroscopy. **Journal of Cell Biology** **27**: p. 137-138, 1965.

KHAN, M. R.; KHAN, M. M.; MOHIDDINC, F. A. Development of *Alternaria* leaf spot of Indian mustard caused by *Alternaria brassicae* under the stress of low levels of sulfur dioxide. **Agriculture, Ecosystems e Environment** **199**: p.154 - 163, 2015.

KRUPA, S.; MCGRATH, M. T.; ANDERSEN, C. P.; BOOKER, F. L.; BURKEY, K. O.; CHAPPELKA, A. H.; CHEVONE, B. I.; PELL, E. J.; ZILINSKAS, B. A. Ambient ozone and plant health. **Plant Disease.** **85 (1)**: p. 4-12, 2001.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; PEREIRA, E. G. Iron ore industry emissions as a potential ecological risk factor for tropical coastal vegetation. **Environmental Manage** **42 (1)**: p. 111-121, 2008.

LELIEVELD, J.; BUTLER, T. M.; CROWLEY, J. N.; DILLON, T. J.; FISCHER, H.; GANZEVELD, L.; HARDER, H.; LAWRENCE, M. G.; MARTINEZ, M.; TARABORRELLI, D.; WILLIAMS, J. Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. **Nature** **452 (10)**: p. 737-740, 2008.

MARAZZI, B.; BRONSTEIN, J. L.; KOPTUR, S. The diversity, ecology and evolution of extrafloral nectaries: current perspectives and future challenges. **Annals of Botan** **111 (6)**: p. 1243–1250, 2013.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD 502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research** **46**: p. 467- 472, 1995.

MELO, A. B. C.; SISMANOGLU, R. A. Infoclima. **Boletim de Informações Climáticas do CPTEC/INPE**, Ano 21, Número 10, p. 1 - 3, 2014. Disponível em <http://infoclima.cptec.inpe.br/~rinfo/pdf_infoclima/201410.pdf> Acesso em 10/08/2015.

MELO, A. B. C.; SISMANOGLU, R. A. Infoclima. **Boletim de Informações Climáticas do CPTEC/INPE**, Ano 22, Número 02, p. 1 - 3. 2015. Disponível em <http://infoclima.cptec.inpe.br/~rinfo/pdf_infoclima/201502.pdf> Acesso em 10/08/2015.

MILANEZ, B.; PORTO, M. F. S. **Ferro e fogo**: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990. In: IV Encontro Nacional da Anppas, Brasília, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/gt6.html>> acesso em 29/05/2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990, dispõe sobre padrões da qualidade do ar.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>> Acesso em 08/07/2015.

MUDD, J. B.; KOZLOWSKI, T. T. **Responses of plants to air pollution**. New York: Academic Press, 1975. 383 p.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em 13/07/2013.

NDIOKWERE, C. L. A Study of Heavy Metal Pollution from Motor Vehicle Emissions and Its Effect on Roadside Soil, Vegetation and Crops in Nigeria. **Environmental Pollution (Series B) (7)**: p. 35-42, 1984.

NICOLSON, S. W.; NEPI, M.; PACINI, E. **Nectaries and Nectar**. Springer, 2007, 267 p.

O'BRIEN, T. P.; MCCULLY, M. E. **The study of plant structure: principles and selected methods**. Melbourne: Termarcarphi PTY, 1981.

PACINI, E.; NICOLSON, S. W. Introduction. In: NICOLSON, S. W.; NEPI, M.; PACINI, E. eds. **Nectaries and nectar**. Dordrecht: Springer, p. 1–11, 2007.

PAULA, S. N. C., Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais. **Monografia apresentada ao Curso de MBA em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Veiga de Almeida, como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental**. Vitória, 2010.

PEARSE, A. G. E. **Histochemistry theoretical and applied**. vol. II. 4 ed. Longman Group Limited. 1980. 1518p.

PEREIRA, E. G.; OLIVA, M. A.; KUKI, K. N.; CAMBRAIA, J. Photosynthetic changes and oxidative stress caused by iron or dust deposition in the tropical CAM tree *Clusia hilariana*. **Trees** **23** (2): p. 277–285, 2009.

PETERS, J. L.; CASTILLO, F. J.; HEATH, R. L. Alteration of extracellular enzymes in pinto bean leaves upon exposure to air pollutants, ozone and sulfur dioxide. **Plant Physiology** **89**: p. 159- 164, 1988.

PITTINGER, D. **California Master Gardener Handbook**, 2nd Edition. University of California Agriculture and Natural Resources. 2014, 702 p.

PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO – PDDI REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO AÇO. **UNILESTE** **1**: p. 1-269, 2014.

PRAJAPATI, S. K. Ecological effect of airborne particulate matter on plants. **Environmental Skeptics and Critics** **1**(1): p. 12-22, 2012.

PROGRAMA INTERLABORATORIAL DE ANÁLISE DE TECIDO VEGETAL - PIAVT. 2015. Disponível em < http://www.piatv.com.br/?secao=prepextratos_met > Acesso em 03/08/2015.

RISTIĆ, M.; PERIĆ-GRUJIĆ, A; ANTANASIJEVIĆ, D.; RISTIĆ, M.; UROŠEVIĆ, M. A.; TOMAŠEVIĆ, M. Plants as Monitors of Lead Air Pollution. In: LICHTFOUSE, E.;

SCHWARZBAUER, J.; ROBERT, D. **Pollutant Diseases, Remediation and Recycling (Environmental Chemistry for a Sustainable World)**. Springer, 2013. P. 387-431.

ROCHA, D. I.; SILVA, L. C.; PEREIRA, E. G.; SANTANNA-SANTOS, B. F.; GONTIJO, E. R.; OLIVA, M. A. Prognostic value or microscopic parameters in the detection of injuries in leaves of *Clusia hilariana* Schletlendal (Clusiaceae) caused by particulate deposition of iron. **Revista Árvore (Online)**, 2014.

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

SANT'ANNA-SANTOS, B. F. **Avaliação dos Efeitos Fitotóxicos do Flúor em *Spondias dulcis* Forst F. (Anacardiaceae), Espécie Tropical Sensível**. 2008. 117 f. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*, Viçosa. 2008.

SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; AZEVEDO, A. A.; ALVES, T. G.; CAMPOS, N. V.; CANO, M. A. O.; Valente, V. M. Effects of Emissions from an Aluminium Smelter in a Tree Tropical Species Sensitive to Fluoride. **Water, Air and Soil Pollution (225)**: p. 2-16, 2014.

SANT'ANNA, S. M. R.; ESPOSITO, M.P.; SOUZA, S.R.; DOMINGOS, M. Suitability of *Nicotiana tabacum* Bel W3 for biomonitoring ozone in São Paulo, Brazil. **Environmental Pollution (151)**: p. 389-394, 2008.

SANTOS, E. L. C. **Avaliação da Qualidade do ar no Parque Estadual do Itacolomi (PEI-MG) Utilizando *Spondias dulcis* Forst F. (Anacardiaceae) como Organismo Bioindicador**. 2013. 57 f. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*, Viçosa. 2013.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental, 2011, disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/cpla/cpla-RQA_20111.pdf> acesso em: 10/07/2013.

SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; SILVA, E. A. M.; OLIVA, M. A. Fluoride in simulated rain: symptomatology and effects on leaf structure and growth of wood plants. **Revista Brasileira de Botânica** **23 (1)**: p. 385-393, 2000.

SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; SILVA, E. A. M.; CANO, M. A. O. Effects of simulated acid rain on the growth of five Brazilian tree species and anatomy of the most sensitive species (*Joannesia princeps*). **Australian Journal of Botany** (**53**): p. 789-796, 2005.

SILVA, L. C.; OLIVA, M. A.; AZEVEDO, A. A.; ARAUJO, J. M.; AGUIAR, R. M. Micromorphological and Anatomical Alterations Caused by Simulated Acid Rain in Restinga Plants: *Eugenia uniflora* and *Clusia hilariana*. **Water, Air, and Soil Pollution** **168**: p. 129 - 143, 2005.

SILVA, L. C.; OLIVA, M. A.; AZEVEDO, A. A.; ARAÚJO, J. M. Responses of restinga plant species to pollution from an iron pelletization factory. **Water, Air, & Soil Pollution** **175 (1)**: p. 241–256, 2006.

SIQUEIRA - SILVA, A. I.; SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; OLIVA, M. A. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety** (**78**): p. 265-275, 2012.

SISTEMA INTEGRADO DE DADOS AMBIENTAIS - SINDA. 2015, disponível em <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>> Acesso em 07/05/2015.

SOUZA, S. R.; SANT'ANNA, S. M. R.; RINALDI, M. C. S.; DOMINGOS, M. Short-term leaf responses of *Nicotiana tabacum* 'Bel-W3' to ozone under the environmental conditions of São Paulo, SE - Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology** (**52**): p. 251-258, 2009.

STATE OF THE ENVIRONMENT REPORT - SOER. Increasing environmental pollution (GMT 10). **The European environment - state and outlook 2015. Global megatrends**. 2015.

TRESHOW, M.; ANDERSON, F. **Plant stress from air pollution**. John Wiley e Sons. Chich. 1989. 283 p.

TUFFI SANTOS, L. D.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; MEIRA, R. M. S. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; MELO, C. A. D.; SILVA, E. F. S. Danos visuais e anatômicos

causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, **26(1)**: p. 9-16, 2008.

VAN DINGENEN, R.; DENTENER, F. J.; RAES, F.; KROL, M. C.; EMBERSON, L.; COFALA, J. The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. **Atmospheric Environment** **43**: p. 604–618, 2009.

VIDAL, B. C. Dichroism in collagen bundles stained with xylydine ponceau 2R. **Annales D'Histochimie** **15**: 289-296, 1970.

WALLISDEVRIES, M. F.; VAN SWAAY, C. A. M.; PLATE, C. L. Changes in nectar supply: A possible cause of widespread butterfly decline. **Current Zoology** **58 (3)**: p. 384–391, 2012.

WELLBURN, A. R. **Air pollution and acid rain: the biological impact**. New York, 274p., 1988.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air quality guidelines for Europe**. Second edition, WHO Regional Office. Copenhagen, (2000).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines: global update**. Geneva: WHO. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **7 million premature deaths annually linked to air pollution**. Geneva: WHO. 2014. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>> acesso em 30/10/2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The urban environment**. 2015. Disponível em <<http://www.who.int/heli/risks/urban/urbanenv/en/>>acesso em 30/10/2015.

7. ANEXOS

Tabela 9 - Variação estatística de poluentes das quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga.

Poluente	Bairro	p-valor	$\beta 1^*$
O ₃	Bom Retiro	0,0001**	-0,11
	Cariru	0,00000001**	-0,27
	Cidade Nobre	0,003**	-0,07
	Veneza	0**	0,32
NO	Bom Retiro	0,59 ^{ns}	-0,003
	Cariru	0,05**	-0,006
	Cidade Nobre	0,53 ^{ns}	-0,001
	Veneza	0,6 ^{ns}	0,005
NO _x	Bom Retiro	0,52 ^{ns}	-0,007
	Cariru	0,00002**	-0,04
	Cidade Nobre	0,0001**	-0,03
	Veneza	0,00005**	0,07
SO ₂	Bom Retiro	0,06 ^{ns}	-0,01
	Cariru	0,0019**	0,012
	Cidade Nobre	0,68 ^{ns}	0,0014
	Veneza	0,048**	0,013

* Incremento ou decréscimo diário na concentração de poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

** Estatisticamente significativa

^{ns} Estatisticamente não significativa

Tabela 10 - Variação estatística de poluentes das quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga.

Poluente	Bairro	p-valor	β1
HT	Bom Retiro	0,02**	-1540
	Cariru	0,01**	-2230
	Cidade Nobre	0,0000085**	11880
	Veneza	0**	15360
HCNM	Bom Retiro	0,00001**	230
	Cariru	0,000001**	-320
	Cidade Nobre	0,0000009**	1140
	Veneza	0**	1240
Benzeno	Bom Retiro	0,0001**	-0,0008
	Cariru	0,0002**	-0,002
	Cidade Nobre	0**	-0,0006
	Veneza	0,17 ^{ns}	0,015
Tolueno	Bom Retiro	0**	-0,0009
	Cariru	0**	-0,001
	Cidade Nobre	0**	-0,002
	Veneza	0,008**	0,001
Etil Benzeno	Bom Retiro	0,67 ^{ns}	-0,0000008
	Cariru	0**	-0,0002
	Cidade Nobre	0**	-0,0006
	Veneza	0,003**	0,0004
Orto Xileno	Bom Retiro	0,001**	-0,00003
	Cariru	0,000005**	-0,00064
	Cidade Nobre	0,000008**	-0,0004
	Veneza	0,11 ^{ns}	0,00048
m e p - Xileno	Bom Retiro	0**	-0,0004
	Cariru	0**	-0,0005
	Cidade Nobre	0**	-0,0015
	Veneza	0,12 ^{ns}	0,0005
Naftaleno	Bom Retiro	0**	-0,0012
	Cariru	0,07 ^{ns}	-0,0007
	Cidade Nobre	0**	-0,0006
	Veneza	0,09 ^{ns}	-0,000034

* Incremento ou decréscimo diário na concentração de poluentes HT (hidrocarbonetos totais), HCNM (hidrocarbonetos não metânicos), Benzeno, Tolueno, Etil Benzeno, Orto Xileno, Meta e Para Xileno, Naftaleno (ppb). ** Estatisticamente significativa e ^{ns} Estatisticamente não significativa.

Tabela 11 - Variação estatística de Partículas Totais em Suspensão das quatro estações de monitoramento da qualidade do ar de Ipatinga.

Poluente	Bairro	p-valor	β_1
Particulado Total	Bom Retiro	0,96 ^{ns}	-0,001
	Cariru	0,29 ^{ns}	-0,039
	Cidade Nobre	0,005 ^{**}	-0,08
	Veneza	0 ^{**}	0,44