

Thamires Fernanda Gomes

Efeitos das emissões de uma usina de alumínio em três espécies vegetais do Parque Estadual do Itacolomi – MG

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

G633e
2015
Gomes, Thamires Fernanda, 1987-
Efeitos das emissões de uma usina de alumínio em três
espécies vegetais do Parque Estadual do Itacolomi - MG /
Thamires Fernanda Gomes. – Viçosa, MG, 2015.
ix, 41f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Luzimar Campos da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.36-41.

1. Plantas. 2. Plantas - Efeito de flúor. 3. *Byrsonima
variabilis*. 4. *Myrceugenia alpigena*. 5. *Eremanthus
erythropappus*. 6. Azul de Evans. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de
Pós-graduação em Botânica. II. Título.

CDD 22. ed. 581

Thamires Fernanda Gomes

Efeitos das emissões de uma usina de alumínio em três espécies vegetais do Parque Estadual do Itacolomi – MG

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: 27/03/2015

Kacilda Naomi Kuki

Cleberson Ribeiro
(Coorientador)

Luzimar Campos da Silva
(Orientadora)

*Ao meu avô Alício José de Carvalho
que sabia como e quando plantar,
sempre presente em meus pensamentos...*

Dedico

**Somente quando for cortada a última
árvore, poluído o último rio, pescado o
último peixe, é que o homem vai
perceber que não pode comer dinheiro!**

(Provérbio indígena)

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Biologia Vegetal, pela oportunidade de realização desta pesquisa, e à Capes e PNADB pela concessão da bolsa de mestrado.

À Prof. Luzimar Campos da Silva pela orientação, ensinamentos, confiança, e contribuições à minha formação profissional.

Ao Prof. Cleberson Ribeiro pela coorientação, compreensão e apoio, desde minha graduação.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV.

Aos colegas de laboratório Ivan, Alvaro, Ivanilson, Luana, Patrícia, Aurora, Valéria, Talita, Larisse, Eliza, Tica, Isabel, Guilherme e Samara... Obrigada por todos os ensinamentos, acadêmicos ou não!

Aos Funcionários do Parque Estadual do Itacolomi pelo apoio na realização desse trabalho, e ao Parque Estadual do Itacolomi e toda sua beleza.

Aos meus irmãos de sangue, e também aos irmãos de coração, agradeço por tudo.

E finalmente a todos os mestres que passaram pela minha vida.

SUMÁRIO

Resumo	vi
Abstract	viii
1. Introdução	1
2. Objetivos	4
3. Material e Métodos	5
3.1. Área de estudo	5
3.2. Material Botânico	5
3.3. Tratamento	5
3.4. Análises Microambientais	6
3.5. Avaliação dos sintomas	6
3.6. Índice SPAD	6
3.7. Determinação do teor de Flúor	6
3.8. Determinação do teor de nutrientes no solo e nas folhas	7
3.9. Análises Anatômicas	7
3.10. Análises Ultraestruturais	8
3.11. Detecção de morte celular	8
3.12. Análises Estatísticas	9
4. Resultados	10
4.1. Análises Microambientais	10
4.2. Avaliação dos sintomas	10
4.3. Índice SPAD.....	10
4.4. Determinação do teor de Flúor.....	10
4.5. Determinação do teor de nutrientes no solo	12
4.6. Determinação do teor de nutrientes nas folhas	12
4.7. Análises Anatômicas e Ultraestruturais Varredura	14
4.8. Detecção de morte celular.....	15
5. Discussão	16
6. Referências Bibliográficas	36

RESUMO

GOMES, Thamires Fernanda, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, março de 2015. **Efeitos das emissões de uma usina de alumínio em três espécies vegetais do Parque Estadual do Itacolomi – MG.** Orientadora: Luzimar Campos da Silva. Coorientador: Cleberson Ribeiro.

O Parque Estadual do Itacolomi (PEI-MG), situado entre os municípios de Ouro Preto e Mariana, MG, recebe imissões de poluentes, dentre eles o Flúor (F), de uma fábrica de alumínio próxima ao PEI. O flúor, dentre os poluentes atmosféricos, é o que apresenta maior fitotoxicidade. Assim, é de extrema importância que se desenvolvam estudos no PEI visando a preservação das espécies vegetais, visto que estudos anteriores evidenciaram sinais de contaminação por F na flora local. Diante desta problemática, o presente trabalho teve como objetivo monitorar três espécies de plantas presentes no PEI: *Byrsonima variabilis* (Malpighiaceae), *Myrceugenia alpigena* (Myrtaceae) e *Eremanthus erythropappus* (Asteraceae), a fim de avaliar as alterações causadas pelas emissões da usina nessas espécies, especialmente o F, por meio de um biomonitoramento passivo. As excursões ao PEI foram realizadas mensalmente por um período de nove meses para coleta de dados em quatro locais no PEI: Ponto 1 (“capela”); Ponto 2 (“trilha para o Pico”); Ponto 3 (“antenas”); Ponto 4 (“próximo à portaria”). Em cada excursão foram avaliadas, em cada ponto, as variáveis ambientais: velocidade do vento ($m\ s^{-1}$), temperatura ($^{\circ}C$), umidade relativa (%), e altitude (m). O surgimento de sintomas visuais nas folhas foi monitorado e foram coletadas folhas sem sintomas visuais (cloroses e necroses) para estudos anatômicos em microscopia de luz, e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foi realizada a quantificação de flúor na matéria seca das folhas nos meses de julho e novembro, e a detecção de morte celular, com o uso do Azul de Evans. Foi realizada também a quantificação do teor de nutrientes no solo e nas folhas das plantas. As três espécies monitoradas apresentaram teor de F em todos os pontos monitorados no PEI, sendo que *M. alpigena* foi a espécie que apresentou maior acúmulo deste elemento. Os pontos 3 e 4 foram os mais representativos dentre os pontos monitorados em julho e novembro, sendo também os pontos mais próximos da fonte emissora, além de estarem mais expostos à incidência de ventos. Ressalta-se, ainda, que o ponto 3 é o ponto de maior altitude. Nos pontos 3 e 4, as espécies apresentaram danos mais severos, como células com paredes danificadas, retração de protoplasto, e

alterações nos tricomas. Em microscopia eletrônica de varredura pode-se também observar danos na estrutura de tricomas e estômatos, além de erosão de cera epicuticular. O teste para morte celular com Azul de Evans foi positivo para as três espécies estudadas. As folhas das espécies estudadas e os solos analisados dos diferentes pontos apresentaram quantidades excessivas dos elementos ferro (Fe) e manganês (Mn). A anatomia de *B. variabilis* e *E. erythropappus* conferiu em uma maior proteção à absorção de F, o que não foi registrado para *M. alpigena*, que apresentou maior acúmulo de F. As três espécies monitoradas no presente estudo, não apresentaram sintomas visuais, mas mostraram ser importantes organismos biosensores de poluição por F.

ABSTRACT

GOMES, Thamires Fernanda, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, March 2015. **Effects of emissions from an aluminum plant in three plant species of the Itacolomi State Park – MG.** Adviser: Luzimar Campos da Silva. Co-adviser: Cleberson Ribeiro.

The Itacolomi State Park (ISP), located between the municipalities of Ouro Preto and Mariana, Minas Gerais state, Brazil, receives imissions of pollutants such as fluoride from an aluminum smelter located near the park. Among atmospheric pollutants, fluoride is the most phytotoxic one. Thus, it is of great importance to conduct studies on the ISP aiming at preserving plant species therein, since previous studies have shown signs of fluoride contamination in the local flora. In view of this environmental problem, the present work aimed to monitor three plant species in ISP: *Byrsonima variabilis* (Malpighiaceae), *Myrceugenia alpigena* (Myrtaceae) and *Eremanthus erythropappus* (Asteraceae), in order to assess the alterations caused on these species by the smelter emissions, especially fluoride, by means of a passive biomonitoring. Field trips to ISP were made on a monthly-basis throughout a nine-month period for data collection on four sites within the park: points 1 (“capela”), 2 (“trilha para o Pico”), 3 (“antenas”) and 4 (“próximo à portaria”). In each field trip the following environmental variables were evaluated in each site: wind speed (m s^{-1}), temperature ($^{\circ}\text{C}$), relative humidity (%) and altitude (m). The appearance of visual symptoms on leaves was monitored, and leaves without visual symptoms (i.e. chloroses and necroses) were collected for anatomical studies under light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). Fluoride was quantified in leaf dry matter of samples from July through November, and cell death events were detected using Evans Blue. Nutrient quantification was performed in soil and leaf samples. The three monitored species showed fluoride contents in all monitored sites, *M. alpigena* having presented the highest accumulation. Points 3 and 4 were the most representative ones among all monitored sites in July and November; they were also the nearest sites to the emission source and were more exposed to the incidence of winds. It should also be noted that point 3 is the highest one. On points 3 and 4, the species showed more severe damage, such as cells with damaged cell walls, protoplast retraction, and alterations in trichomes. Under SEM, damage to trichome and stomata structure could be observed, as well as epicuticular wax erosion. The Evans Blue test for cell death was positive for all three species. Leaves of all three studied species

and the analyzed soil samples from the studied sites showed excessive amounts of iron and manganese. The anatomy of *B. variabilis* and *E. erythropappus* conferred them a higher protection against fluoride absorption; this was not reported for *M. alpigena*, which showed higher fluoride accumulation. The three species that were monitored in the present studied did not show visual symptoms, but proved to be important biosensor organisms of fluoride pollution.

1. INTRODUÇÃO

Poluição ambiental pode ser definida como uma alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do solo, água e ar, resultante das atividades humanas, que podem afetar negativamente o homem, animal e/ou vegetal (CONAMA, 1986).

O monitoramento da poluição ambiental, com o uso de bioindicadores apresenta vantagens, como baixo custo, e melhor interpretação das relações ecológicas (Oliva e Figueiredo, 2005). Esse monitoramento utilizando organismos bioindicadores tem sido apontado cada vez mais como uma alternativa e/ou complemento a métodos físico-químicos sofisticados, que requerem custos elevados de implantação, operação e manutenção (Buss et al., 2003).

Na cidade de Ouro Preto, MG, Brasil, está instalada uma fábrica de alumínio, fonte emissora de fluoreto atmosférico (Arndt et al., 1995; Weinstein e Davison, 2004). Alguns estudos foram realizados nessa região a fim de observar os danos causados pelo Flúor (F) na vegetação, seja por meio de biomonitoramento passivo (Divan Junior et al., 2008), ou por meio de plantas que foram expostas nos locais desejados, em biomonitoramento ativo (Sant'Anna-Santos e Azevedo, 2010). Em estudos realizados dentro do Parque Estadual do Itacolomi (PEI), localizado próximo à fábrica de alumínio, também foi verificada a contaminação de espécies ocorrentes no PEI (Pasini, 2011), e de espécies que foram expostas no PEI (Santos, 2013). Nos estudos de Divan Junior et al. (2008), Pasini (2011) e Santos (2013), os autores observaram que quanto mais próximas à fonte emissora de F, mais intensos eram os danos às plantas, que apresentaram altos teores do poluente, implicando em disfunções fisiológicas e posterior formação de necroses.

O flúor é considerado o elemento químico mais eletronegativo e o mais quimicamente ativo dos elementos não metálicos. Este elemento, quando absorvido pelas folhas, tem a capacidade de ligar-se a cátions como Mg^{++} e Ca^{++} , formando assim complexos “metal-flúor” extremamente estáveis e que, conseqüentemente, causam a deficiência desses minerais levando a injúrias foliares (Miller, 1993; Arndt et al., 1995; Fornasiero, 2003; Oliva e Figueiredo, 2005; Reddy e Kaur, 2008).

O flúor ocorre naturalmente na crosta terrestre, na forma de diversos compostos como criolita (Na_3AlF_6), fluorita (CaF_2) e apatita ($Ca_{10}F_2(PO_4)_6$). É emitido na forma de fluoreto de hidrogênio (HF), sendo esta a principal forma encontrada na atmosfera

(Arndt et al., 1995). Dentre suas fontes naturais podem ser citadas as atividades vulcânicas e a liberação de spray oceânico (Pompéia, 2000). Antropogenicamente, os fluoretos são lançados na atmosfera por diversos processos industriais como fundição de alumínio, fabricação de vidro e cerâmica, produção de adubos minerais (como fertilizantes fosfatados), esmalte, teflon, gás refrigerante, aerossol, inseticida esterilizante, fluoretação da água, processamento de urânio, dentre outros (Arndt et al., 1995; Amaral, 1997).

O flúor apresenta a maior fitotoxicidade entre os poluentes atmosféricos, podendo causar injúrias em espécies sensíveis em concentrações atmosféricas 10 a 1000 vezes menores que outros poluentes, tais como ozônio (O₃), dióxido de enxofre (SO₂), e óxido de nitrogênio (NO). Sendo assim, baixa emissão de F para a atmosfera pode resultar em danos consideráveis para o desenvolvimento das plantas (Weinstein, 1977).

O flúor é absorvido passivamente pelas plantas na forma do íon fluoreto (F⁻) (Amaral, 1997), e não é considerado um elemento essencial para as plantas (Adriano, 1986). Em sua forma gasosa, penetra na folha principalmente através dos estômatos, e em menor proporção, através da cutícula e lenticelas. Já em solução aquosa, o flúor é absorvido por toda a superfície foliar (Chaves et al., 2002), e move-se via apoplasto no interior da folha, chegando às margens e ápice foliar por meio da corrente transpiratória, onde é acumulado, promovendo injúrias (Miller, 1993).

O flúor pode inibir a atividade de enzimas fotossintéticas como a ATPase do cloroplasto, a rubisco e a sacarose sintase podendo, assim, afetar processos metabólicos importantes como a fotossíntese, a respiração e o metabolismo de carboidratos (Oliva e Figueiredo, 2005; Divan Junior et al., 2007).

Os sinais visuais dos danos causados pelo flúor na planta geralmente correspondem a necroses marginais e nos ápices foliares. Essas necroses são separadas dos tecidos não afetados por uma linha fortemente marcada de cor vermelho-amarronzada (Fornasiero, 2001; Sant'Anna-Santos et al., 2012; Santos, 2013).

O F pode causar outros danos à planta, como aumento na concentração de compostos fenólicos e descoloração em regiões foliares, ou em toda ela, murcha foliar (Fornasiero, 2001), e cloroses de forma e tamanho irregulares (Chaves et al., 2002; Oliva e Figueiredo, 2005; Pita-Barbosa et al., 2009). A clorose foliar é um típico sintoma da toxidez por F em plantas, sendo atribuída ao colapso de cloroplastos e alterações

metabólicas na síntese de pigmentos (Arndt et al., 1995; Fornasiero, 2003; Reddy e Kaur 2008). A redução na concentração de pigmentos fotossintéticos pode ser resultante dos danos causados à estrutura dos cloroplastos, e pelo aumento da atividade enzimática de clorofilases, além da indisponibilidade do Mg^{2+} durante o processo de biossíntese de clorofila (Miller, 1993; Fornasiero, 2001; Weinsten e Davison, 2003; Oliva e Figueiredo, 2005).

A contaminação por F não resulta apenas em modificações macroscópicas. Alterações microscópicas e anatômicas, como ruptura da cutícula e de tricomas (Pita-Barbosa et al., 2009), erosão das ceras epicuticulares e danos nas cristas estomáticas (Fornasiero, 2001; Sant'Anna-Santos et al., 2012; Santos, 2013), além de modificações da forma celular, e colapso de células (Silva et al., 2000; Fornasiero, 2001; Pasini, 2011), também podem ocorrer em plantas expostas a este elemento.

Em consequência da alta reatividade do flúor, principalmente na forma de ácido fluorídrico (HF), este se comporta, seja no transporte ou na dispersão, de maneira diferente dos outros poluentes atmosféricos. Assim, não é observado um transporte à longa distância de quantidades significativas de flúor; no entanto, em áreas mais próximas às emitentes, são frequentemente encontradas concentração de risco para as plantas (Arndt et al., 1995).

Estudos no Brasil vem sendo realizados afim de determinar o grau de sensibilidade e resposta das plantas aos poluentes atmosféricos (Weinstein e Hansen, 1988; Arndt et al., 1995; Silva et al., 2000; Domingos et al., 2004). Sendo assim, as espécies *Byrsonima variabilis* (Malpighiaceae), *Myrceugenia alpigena* (Myrtaceae) e *Eremanthus erythropappus* (Asteraceae), foram monitoradas no PEI, com a finalidade de determinar a sensibilidade ou a tolerância destas espécies ao flúor. A hipótese a ser testada é que os poluentes emitidos pela usina, em especial o flúor, podem causar danos nessas espécies presentes no PEI.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito das imissões provenientes de uma fábrica de alumínio sobre as espécies *Myrceugenia alpigena*, *Byrsonima variabilis* e *Eremanthus erythropappus*, presentes no Parque Estadual do Itacolomi, sob parâmetros macro e microscópicos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar os teores de flúor nas espécies estudadas em diferentes pontos no PEI;
- Caracterizar os sintomas visuais foliares (necroses e cloroses) ocasionados pelo flúor nas espécies monitoradas;
- Quantificar indiretamente os teores de clorofila das espécies estudadas;
- Avaliar o teor de nutrientes no solo e nas folhas;
- Analisar as alterações estruturais e micromorfológicas nas plantas expostas aos poluentes emitidos pela fábrica de alumínio no entorno do PEI, principalmente o flúor;
- Avaliar a ocorrência de morte celular;
- Contribuir com informações sobre a sensibilidade das espécies monitoradas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Parque Estadual do Itacolomi (PEI) situa-se entre os municípios de Ouro Preto e Mariana, no Estado de Minas Gerais, entre os meridianos 43°32'30" e 43°22'30" W e os paralelos 20°22'30" e 20°30'00" S. Regulamentado pela Lei nº 4465 de 19 de julho de 1967, o PEI compreende uma área de aproximadamente 7000 ha, cujo ponto mais elevado é o Pico do Itacolomi, com 1772 m de altitude (Messias et al., 1997).

A vegetação do PEI é diversificada, composta por áreas de Campos Rupestres, que ocupam a maior extensão da área do PEI, e de vegetação florestal (Messias et al., 1997).

O clima do PEI, é do tipo Cwb, subtropical/tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 21°C, com máxima de 33°C e mínima de 4°C, a precipitação média anual é de 2018 mm (Messias et al., 1997).

3.2. MATERIAL BOTÂNICO

Foram analisados indivíduos pertencentes a três espécies: *Myrceugenia alpigena* (DC.) Ladrum (Myrtaceae), *Byrsonima variabilis* DC. (Malpighiaceae), e *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch (Asteraceae), ocorrentes no Parque Estadual do Itacolomi. O monitoramento passivo desses indivíduos foi realizado em quatro locais em diferentes distâncias da fonte emissora de flúor, sendo eles: Ponto 1 – capela (20°26'04.2"S, 043°30'37.6"W); Ponto 2 – trilha para o Pico (20°25'54.4"S, 043°29'42.5"W); Ponto 3 – antenas (20°25'03.1"S, 043°30'21.6"W), e Ponto 4 – próximo à portaria (20°24'30.7"S, 043°30'22.5"W). As localizações e distâncias da usina a partir destes pontos no PEI, estão apresentadas na Figura 1. A disponibilidade das espécies em cada ponto avaliado, está apresentada na Tabela 1.

3.3. TRATAMENTO

O experimento consistiu de uma exposição passiva dos indivíduos (n=5) de cada espécie no Parque Estadual do Itacolomi, caracterizando um biomonitoramento passivo, com espécies presentes no PEI. Os indivíduos foram monitorados por um período de nove meses, de abril a dezembro de 2014.

3.4. ANÁLISES MICROAMBIENTAIS

As análises microambientais foram realizadas durante o biomonitoramento no PEI. As medições foram realizadas próximas aos indivíduos monitorados nos respectivos locais, entre 9:00 e 12:00 h, entre os meses de abril a dezembro de 2014.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: velocidade do vento (m s^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e altitude (m), obtidos por meio do equipamento Kestrel (modelo 4300, Nielsen-Kellerman, USA).

3.5. AVALIAÇÃO DOS SINTOMAS VISUAIS

Mensalmente, foram monitorados três ramos de cada indivíduo ($n=3$) de cada espécie, em cada ponto do PEI. As folhas dos ramos foram fotografadas para registrar sintomas visuais como cloroses e necroses ocasionadas pelas imissões da usina. Para o cálculo da percentagem de área foliar necrosada foi utilizada a seguinte escala: levemente injuriada (com manchas necróticas e cloróticas esparsas), moderadamente injuriada (de 30 a 50% da área foliar necrosada), muito injuriada (de 50 a 70% da área foliar necrosada) e extremamente injuriada (com mais de 70% da área foliar necrosada) (Silva et al., 2000).

3.6. ÍNDICE SPAD

O índice SPAD (que correlaciona com o teor de clorofila) foi determinado pelo equipamento SPAD (Soil Plant Analysis Development, modelo 502, Minolta Corporation, Ramsey, USA), em folhas maduras completamente expandidas do 3° nó a partir do ápice, sendo as médias obtidas a partir de leituras em três folhas em cada indivíduo.

3.7. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FLÚOR NA MATÉRIA SECA DAS FOLHAS

Para a quantificação do teor de flúor na matéria seca, folhas do terceiro nó a partir do ápice dos indivíduos de todos os tratamentos foram secas em estufa, a 65°C , e reduzidas, em moinho do tipo Wiley, em partículas com dimensões inferiores a 1 mm. Logo após, alíquotas de 0,25 g de cada repetição foram submetidas à extração em ácido sulfúrico 0,5 M (Fialho, 1997). A determinação potenciométrica do teor de flúor foi

realizada com o uso de um eletrodo específico (Thermo Scientific Fluoride Ions Selective Electrode, Massachusetts, EUA) ligado ao aparelho analisador de íons (Orion Research Incorporated EA 920, Massachusetts, EUA). O teor de flúor foi realizado nas campanhas de avaliação dos meses de julho e novembro.

3.8. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO E NAS FOLHAS

Amostras de solo das quatro áreas monitoradas, e também de um ponto externo ao PEI (Ponto 5 - próximo à usina - 20°24'27,3"S, 043°31'03,9"W), foram coletadas aleatoriamente em profundidade de 0-20 cm, com três repetições para cada tipo de solo. O material foi seco ao ar livre e peneirado em malha para determinação das propriedades químicas do solo (EMBRAPA, 1997). A análise foi realizada no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), sendo determinados os teores de Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Nitrogênio (N), Potássio (K), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e matéria orgânica (MO).

Para determinação do teor de nutrientes, folhas a partir do 3° nó foram secas em estufa com ventilação forçada a 65° C, sendo, posteriormente, trituradas em moinho de facas (modelo TE048, Tecnal Marconi, Piracicaba, São Paulo). Os nutrientes foram determinados segundo metodologia adaptada por Tedesco et al. (1995). Os teores de K, Ca, Mg, P, S, Fe, N, B, Cu, Mn, Zn, Ni, Pb e Cr foram determinados em espectrômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (modelo 3300 DV, Perkin Elmer Optima, EUA). A análise foi executada no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os dados médios das análises de nutrientes no solo e nas folhas foram confrontados com os de Ribeiro et al. (1999) e Malavolta (2002), que estabelecem limites mínimos, médios e máximos desses elementos no solo e em plantas.

3.9. ANÁLISES ANATÔMICAS – MICROSCOPIA DE LUZ

Para análise das alterações anatômicas foram coletadas folhas completamente expandidas do terceiro nó a partir do ápice, não contendo necroses visuais, dos indivíduos de cada local de monitoramento no PEI.

Para os estudos anatômicos, as amostras foliares foram fixadas em solução de glutaraldeído (2,5%) e paraformaldeído (10%), em tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 7,2), acrescido de cloreto de cálcio 5 mM (Karnovsky, 1965). Posteriormente, o material foi desidratado em série etílica crescente e incluído em historresina glicol-metacrilato, de acordo com Gerrits (1964).

Cortes transversais com 4 µm de espessura foram obtidos com auxílio de um micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2265, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA) e corados em azul de Toluidina (pH=4,0) (O'Brien e McCully, 1981). Logo após, as lâminas permanentes foram montadas em Permount.

Todas as imagens foram capturadas utilizando-se um microscópio de luz (modelo Olympus AX70TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) com sistema de captura de imagens (modelo Axio Vision Release 4.8.1, Carl Zeiss Vision GmbH, Alemanha), localizado no Laboratório de Anatomia Vegetal da UFV.

3.10. ANÁLISES ULTRAESTRUTURAIIS– MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) foi utilizado para avaliação das possíveis alterações morfológicas nas plantas expostas às emissões da usina, especialmente o flúor. Amostras foliares, sem sintomas visuais, coletadas no 3º nó a partir do ápice, foram fixadas em solução de Karnovsky (solução de glutaraldeído 2,5% e paraformaldeído 4%, em tampão fosfato de sódio pH 7,2, acrescido de cloreto de cálcio 5mM) (Karnovsky, 1965). As amostras foram desidratadas em série etílica e secas ao ponto crítico com auxílio do equipamento Critical Point Dryer (CPD 030, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein). A superfície das folhas foi coberta com ouro em metalizador (Sputter Coater modelo FDU010, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein).

Todas as imagens, foram fotodocumentadas em microscópio eletrônico de varredura (modelo 1430 VP, LEO, Cambridge, Inglaterra) utilizando o software Iridium Ultra. Os equipamentos pertencem ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV.

3.11. DETECÇÃO DE MORTE CELULAR

Para a detecção da morte celular, amostras da região mediana de folhas sem sintomas aparentes, localizadas no 3º nó de todas as espécies foram imersas em solução de azul de Evans 0,1% durante 40 min. Em seguida, as amostras foram clarificadas por 4 dias em álcool 95% em estufa a 65°C (Kato et al., 2007). Logo após, as lâminas foram montadas em água glicerinada. Neste teste, o reagente Azul de Evans infiltra apenas em células com a permeabilidade da membrana alterada, sintoma típico de células mortas, corando-as de azul (Gaff e Okong'O-Gola, 1971).

3.12. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), empregando-se o programa Sisvar: a computer statistical analysis system, Ciência e Agrotecnologia – UFLA (Ferreira, 2011). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISES MICROAMBIENTAIS

De acordo com as análises microambientais, o mês que registrou maior temperatura foi novembro. Em dezembro foi verificado uma maior porcentagem de umidade relativa que nos outros meses avaliados. Os meses que tiveram maior incidência de ventos foram em junho e julho que correspondem à estação seca do PEI.

Os resultados da temperatura, umidade relativa, e velocidade do vento registrados no PEI durante o monitoramento são apresentados na Figura 2. Os dados de altitude de cada ponto amostrado são apresentados na Tabela 2.

4.2. AVALIAÇÃO DOS SINTOMAS

As folhas dos ramos monitorados de cada indivíduo (n=3) em todos os pontos monitorados no PEI, não apresentaram sintomas visuais (cloroses e necroses) ocasionados pelas emissões da usina.

4.3. ÍNDICE SPAD

O índice SPAD lido para todas as espécies não variou, comparando as medidas realizadas em maio e outubro de 2014. As medições obtidas nas duas campanhas estão apresentadas na Tabela 3.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FLÚOR NA MATÉRIA SECA DAS FOLHAS

De acordo com a quantificação de flúor na matéria seca realizada em julho de 2014, dentre as três espécies monitoradas no PEI, os indivíduos de *Myrceugenia alpigena* apresentaram maior teor de Flúor, seguida por *Byrsonima variabilis* e *Eremanthus erythropappus*, que não variaram os teores de flúor nos pontos analisados.

M. alpigena acumulou 25,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F no ponto 3 (antenas), e 22,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ no ponto 4 (próximo a portaria), diferindo das outras espécies nestes mesmos pontos, mas não diferindo na comparação entre os pontos para mesma espécie. Indivíduos de *M. alpigena* foram encontrados e monitorados apenas nos pontos 3 e 4.

B. variabilis apresentou teores de F de 8,5 e 9,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos pontos 1 (capela) e 2 (trilha para o Pico), e 12,5 e 13 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos pontos 3 (antenas) e 4 (próximo a portaria), respectivamente. Entre os pontos monitorados dessa espécie não houve diferença significativa no teor de F.

E. erythropappus também não diferiu estatisticamente no acúmulo de F entre os pontos monitorados. Nos pontos 1, 2, 3 e 4, os indivíduos apresentaram 7,8; 9,0; 9,0 e 10,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F respectivamente.

Os pontos 3 e 4 foram os mais representativos dentre os pontos monitorados em julho, onde a espécie, *M. alpigena*, apresentou maior acúmulo deste elemento. Os dados da quantificação de F em julho de 2014 estão apresentados na Figura 3A.

Na quantificação de Flúor realizada em novembro de 2014, *M. alpigena* manteve diferença significativa no acúmulo de F se comparado com as outras espécies monitoradas, apresentando 23 $\mu\text{g g}^{-1}$ deste elemento no ponto 4, mas não diferindo da quantificação apresentada em julho no mesmo ponto.

B. variabilis apresentou 13 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F nos indivíduos do ponto 4, não diferindo do resultado da quantificação de julho no mesmo ponto. Nos pontos 1 e 2, a espécie apresentou 8 e 8,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F. Além dos pontos em que *B. variabilis* foi monitorada dentro do parque, também foram coletados indivíduos mais próximos a usina no entorno do parque, no ponto 5. Neste ponto, a espécie apresentou 13,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F. Não houve diferença no teor de F em *B. variabilis* entre os pontos monitorados e entre os dois meses de coleta.

E. erythropappus apresentou 8,5; 10,5 e 10,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de F nos pontos 1, 2 e 4 respectivamente. Não houve diferença significativa entre os pontos amostrados neste mês, também não houve diferença entre a quantificação feita nos dois meses, julho e novembro.

No mês de novembro não foi possível fazer coleta para a quantificação de F das espécies do ponto 3, devido a um incêndio no PEI, que resultou na morte de todos os indivíduos monitorados deste ponto. Diante dessa problemática, optou-se em acrescentar o ponto 5 (próximo a usina) ao presente trabalho. Os dados da quantificação de F em novembro de 2014 estão apresentados na figura 3B.

4.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO

De acordo com a definição de Ribeiro et al., (1999) para concentrações adequadas de nutrientes em solos de Minas Gerais, o ponto 1 apresentou baixos teores potássio (K), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), e boro (B). Os elementos fósforo (P), enxofre (S), alumínio (Al), e matéria orgânica (MO) exibiram concentração média. Já para os elementos, cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn), este mesmo ponto apresentou altas concentrações.

No ponto 2 os elementos Cu, Mn, Fe e Zn, também apresentaram concentrações elevadas. Os elementos P, Al, B, e MO apresentaram concentração média, enquanto concentrações baixas foram verificadas para K, Ca^{2+} , e Mg^{2+} .

O solo do ponto 3 também apresentou concentrações altas para Mn, Fe, e Zn. Os elementos P, K, Al, S, B, Cu, e MO apresentaram concentrações médias. Concentrações baixas foram verificadas apenas para Ca^{2+} e Mg^{2+} .

As concentrações dos elementos Mn, Fe, Zn e Cu, também foram altas no solo do ponto 4. P, K, Al, S, B, e MO, apresentaram concentrações médias, enquanto concentrações baixas foram verificadas apenas para Ca^{2+} e Mg^{2+} .

No solo do ponto 5 os elementos K, Ca^{2+} e Mg^{2+} , tiveram baixas concentrações. Concentrações médias foram verificadas para P, Al, S, B e MO. Os elementos Cu, Mn, Fe e Zn apresentaram altas concentrações.

Os elementos Cu, Mn, Fe e Zn foram os elementos presentes em quantidades excessivas em todos os pontos amostrados, exceto no ponto 3, em que a concentração de Cu alcançou níveis médios. Os elementos Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram baixo teor em todos os pontos. As características químicas dos solos de todos os pontos monitorados estão representadas na tabela 4.

4.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE NUTRIENTES NAS FOLHAS

De acordo com o teor adequado de macro e micronutrientes nas folhas de plantas brasileiras (Malavolta, 2002), a composição mineral nas folhas de *Myrceugenia alpigena* presente no ponto 3 apresentou teores adequados para os elementos manganês (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni), e enxofre (S). Os elementos cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), boro (B), magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), e fósforo (P) apresentaram valores abaixo do adequado para plantas. Já para Fe, o teor encontrado

foi acima do adequado.

No ponto 4, os indivíduos de *M. alpigena* apresentaram valores acima do adequado para Mn e Fe. Os elementos Cr, Ni, e S, apresentaram teores adequados. Abaixo dos teores adequados estão os elementos Cu, Pb, Zn, N, B, Mg, Ca, K e P (Tabela 5).

No ponto 1, *Byrsonima variabilis* apresentou teores abaixo do adequado para P, K, Ca, Mg, S, N, Cu, B, e Pb em plantas. Os elementos Fe e Mn mostraram teores acima do adequado. Zn e Ni apresentaram valores considerados adequados.

Os teores de todos os elementos no ponto 2 e 3 são similares aos do ponto 1, nos indivíduos de *Byrsonima variabilis*.

Os elementos Fe e Mn, também apresentaram teores acima do adequado no ponto 4. Abaixo dos teores indicado estão P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, e Pb. Os elementos N, Zn, e Ni apresentaram valores adequados.

No ponto 5, os teores dos nutrientes foram iguais ao ponto 4, exceto pelo elemento Ca que apresentou valor adequado neste ponto. O elemento Cr, apresentou teores acima do adequado mas não atingindo níveis tóxicos em todos os pontos amostrados (Tabela 6).

Em *Eremanthus erythropappus*, as concentrações de P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, N, Cu, B, e Pb no ponto 1 estão abaixo do adequado. Cr e S, apresentaram valores adequados, enquanto em Cu, Mn, Fe, Zn e Ni os teores estão acima do adequado. Os elementos do ponto 2,3 e 4 apresentaram teores similares aos teores dos elementos do ponto 1. Todos os teores dos elementos amostrados em *E. erythropappus* estão apresentados na tabela 7.

Os elementos Fe e Mn, foram os elementos presentes em quantidades excessivas nas três espécies, em todos os pontos amostrados, exceto para *M. alpigena* no ponto 3, em que a concentração de Mn foi adequada.

4.7. ANÁLISES ANATÔMICAS E ULTRAESTRUTURAIS

- *Myrceugenia alpigena*:

A folha de *M. alpigena* apresenta epiderme unisseriada, com tricomas tectores e estômatos na face abaxial da folha, sendo classificada como hipoestomática. O mesofilo

é dorsiventral, apresentando cavidades secretoras próximas ao parênquima paliçádico (Fig.4A).

Nos dois pontos em que *M. alpigena* foi monitorada (ponto 3-Antenas e ponto 4-Próximo a portaria), observou-se danos anatômicos causados pelo Flúor. Nesses pontos, os indivíduos apresentaram retração de protoplasto e células do colênquima da nervura central, com formato alterado (Fig. 4. B, C, D), além de deformação nos tricomas tectores (Fig. 4A).

A partir da observação ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), pode-se observar em *M. alpigena*, a presença de tricomas flácidos (Fig. 4. E, F), sendo que em algumas áreas houve consequente perda dos mesmos, restando apenas suas bases (Fig. 4E). Observou-se também, estômatos com cristas danificadas (Fig. 4. G, H), e formação de sulcos (Fig. 4E). No dois pontos (3 e 4) em que foi realizada a coleta para MEV, *M. alpigena* apresentou estômatos com cristas danificadas, bases de tricomas danificados, e tricomas flácidos.

- *Byrsonima variabilis*:

Apresenta folhas hipoestomáticas com epiderme unisseriada e cutícula espessa em ambas as faces da folha. Os estômatos estão situados no mesmo nível das demais células epidérmicas e as células guarda apresentam crista estomática proeminente, o mesofilo é isobilateral (Fig. 5-A).

B. variabilis foi monitorada em todos os pontos. As folhas das plantas dos pontos 1 (capela), e 3 (Antenas) (Fig. 5. B, C), apresentaram células colapsadas, com forma alterada. Nos pontos 4 (Próximo à portaria) e 5 (Próximo à usina), também verificou-se a mesma alteração nas plantas monitoradas.

A partir da observação ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), em *Byrsonima variabilis*, assim como em *M. alpigena*, observou-se tricomas flácidos (Fig. 5. D), e erosão das ceras epicuticulares, além de estômatos danificados, com ruptura das cristas estomáticas (Fig. 5. E, F).

- *Eremanthus erythropappus*:

A lâmina foliar de *E. erythropappus* é anfiestomática, apresentando pequeno número de estômatos na face adaxial. A epiderme é unisseriada, com cutícula delgada, e o mesofilo é dorsiventral (Fig. 6A). Tricomas glandulares foram observados na

epiderme de ambas as faces da lâmina foliar (Fig. 6. A, B), além de tricomas tectores, que foram encontrados na face abaxial (Fig. 6A).

Em *Eremanthus erythropappus*, indivíduos dos pontos 1 (Capela) e 3 (Antenas), apresentaram tricomas glandulares aparentemente danificados (Figura 6. A, B).

Em microscopia eletrônica de varredura pode-se observar em maior detalhe as alterações nos tricomas glandulares, os quais apresentaram-se danificados (Fig. 6. C, D, E, F). Além disso, observou-se proliferação de hifas fúngicas na base dos tricomas que foram danificados (Fig. 6. D, E), e erosão de cera epicuticular (Fig. 6. C, F).

4.8. DETECÇÃO DE MORTE CELULAR

O teste para morte celular foi positivo para todas as espécies monitoradas no PEI. Em *M. alpigena*, no ponto 4, os danos foram observados em tricomas tectores, que se apresentaram fortemente corados pelo Azul de Evans (Fig. 7B).

Em *B. variabilis* o teste foi positivo para os pontos 1 (Fig.7.C, D) e 5 (Fig. 7. E, F). Os maiores danos foram observados em estômatos, nos dois pontos.

Em *E. erythropappus*, apenas os indivíduos do ponto 2 tiveram suas células coradas pelo Azul de Evans. Esta espécie apresentou moderado grupo de células estomáticas coradas fracamente pelo reagente (Fig. 7A).

Não foi possível realizar a coleta para teste de morte celular nos indivíduos do ponto 3, devido ao incêndio no PEI, relatado anteriormente.

5. DISCUSSÃO

Conforme observado nas espécies monitoradas no PEI no presente estudo, determinadas espécies podem não apresentar sintomas visuais, embora possam acumular o poluente ou apresentar danos em níveis microscópicos (De Temmerman et al., 2004).

No presente trabalho, de acordo com a quantificação de flúor, *Myrceugenia alpigena* apresentou uma média máxima de F de 25,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, seguida por *Byrsonima variabilis* com 13,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, e 10,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ para *Eremanthus erythropappus*.

De acordo com Treshow & Anderson (1991), a fitotoxicidade do F depende do estágio de desenvolvimento foliar, da espécie avaliada e sua suscetibilidade geneticamente determinada, e da concentração do poluente na atmosfera. Em alguns estudos, é sugerido que plantas sensíveis possam apresentar danos visuais quando a concentração de F na planta é maior que 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa seca (Treshow & Anderson, 1991). No entanto, Oliva e Figueiredo (2005) detectaram cloroses e necroses em gramíneas com teores foliares de F entre 4,7 e 27 $\mu\text{g g}^{-1}$, enquanto para *Lolium multiflorum*, mesmo em concentrações elevadas de F (180 $\mu\text{g g}^{-1}$), não foram verificados danos visuais (Mesquita et al., 2011). Isso mostra que a variação de susceptibilidade das espécies não está ligada a um limite de concentração de F, mas sim a resposta específica de cada organismo ao poluente, como observado no presente trabalho, no qual as espécies estudadas não apresentaram sintomas visuais, mas apresentaram teores de F consideráveis e alterações anatômicas.

Os pontos 3 e 4 foram os locais onde a espécie *M. alpigena* apresentou maior teor de F. Este resultado está relacionado ao fato destes pontos serem os mais próximos da fonte emissora, além de serem os pontos com forte incidência de ventos, o que facilita a chegada dos poluentes até as plantas. O ponto 3, é também o de maior altitude, que pode expor as plantas às correntes de vento vindos da usina.

B. variabilis apresenta cutícula espessada e densa cobertura de cera epicuticular, inclusive sobre suas células estomáticas. Chaves et al. (2002), ao comparar *Chloris gayana* e *Panicum maximum*, observaram que a maior proporção de cera pode estar relacionada com a maior resistência a poluição por flúor em *C. gayana*. Já em *E. erythropappus* no presente experimento, a grande densidade de tricomas pode ter

representado uma barreira para a entrada do F via estômato, assim como observado também por Chaves et al. (2002) em *Chloris gayana* e por Ribeiro (2008) avaliando quatro espécies da Mata Atlântica, os autores concluíram que *Eremanthus erythropappus* tem a capacidade de tolerar alta concentração de flúor mantendo inalterado diversos parâmetros fisiológicos. O menor teor de F em *B. variabilis* e *E. erythropappus*, provavelmente está relacionado à estrutura anatômica destas espécies, que pode conferir uma maior proteção à planta, pela redução da entrada de poluentes na folha.

O medidor SPAD, mede indiretamente a concentração de clorofila (Markwell et al., 1995; Silveira et al., 2003), sendo que as espécies estudadas não variaram nas medidas de clorofila obtidas nos diferentes pontos nas duas campanhas de amostragem. Sendo assim, no presente estudo, não foram observados sintomas visuais como cloroses e necroses causados por deficiência de pigmentos, já que os mesmos se encontravam em concentrações normais.

No teste com Azul de Evans, pôde-se observar grupos celulares com membranas alteradas, indicando que houve morte celular em regiões das folhas das três espécies monitoradas. Este teste é um importante prognóstico na detecção de morte celular, mesmo quando as injúrias não são visualizadas (Faoro & Iriti, 2005). O flúor gasoso penetra nas plantas através dos estômatos (Peixoto et al. 2005). No presente trabalho foram observadas células mortas próximo aos estômatos. Este resultado pode ser um indício de que a morte celular ocorreu devido ao poluente absorvido (Gerosa et al., 2009; Alves et al., 2011), e que conseqüentemente com o acúmulo do mesmo, outros tecidos serão atingidos.

As três espécies monitoradas no PEI apresentaram danos micromorfológicos em suas folhas. *M. alpigena* e *B. variabilis* apresentaram danos mais severos em tricomas e estômatos. A ocorrência de danos principalmente associados aos estômatos em *M. alpigena* e *B. variabilis*, também foi relatado em outras espécies (Chaves et al., 2002; Sant'Anna-Santos & Azevedo, 2007). Isto se deve ao fato de os estômatos serem a principal via de entrada para o F.

Em *Eremanthus erythropappus* os danos micromorfológicos foram mais intensos em tricomas glandulares com proliferação de hifas fúngicas. O surgimento de

hifas fúngicas já foi relatado anteriormente em estudo com plantas expostas no PEI (Santos, 2013). A invasão de agentes patogênicos está relacionada com a erosão da cera epicuticular, que quando danificada pode facilitar a entrada de fluoreto na epiderme e permitir, secundariamente, a invasão de patógenos (Pozza et al., 2004).

Com o estudo anatômico foram detectadas alterações no formato das células e retração de protoplasto. A alteração no formato das células, também foi relatado por outros autores, supõe-se que o flúor em interação com componentes da membrana, pode alterar a permeabilidade da mesma, alterando a matriz lipídica, e interferindo em sua função metabólica e sua seletividade, podendo levar à morte celular como verificado no presente estudo (Miller 1993, Fornasiero 2001, Kamaluddin 2003, Weinstein 2003, e Oliva e Figueiredo 2005, Santos, 2013).

A microscopia de luz corroborou com os mesmos resultados apresentados pela microscopia eletrônica de varredura. Os resultados obtidos permitem afirmar que as espécies monitoradas apresentaram alterações microscópicas significativas em resposta ao flúor, mesmo não ocorrendo injúrias visíveis.

De acordo com a quantificação de nutrientes realizada no solo, foram encontradas elevadas concentrações dos elementos ferro (Fe) e manganês (Mn) nos solos do PEI. Fujaco (2007) avaliou o solo no PEI, e também encontrou essas concentrações, que refletem a geologia local composta por quartzitos ferruginosos e faixas de canga. As análises químicas mostram que a maioria dos elementos no solo do PEI, se encontram em concentração adequadas para solos não contaminados (Ribeiro et al., 1999). Na análise nutricional das plantas, também nota-se uma elevada concentração de Fe e Mn nas três espécies (Malavolta et al., 2002), corroborando com as concentrações descritas no solo para estes elementos no presente trabalho. Esses mesmos resultados também foram observados por Correa (2006), avaliando o estado nutricional de plantas e solos da região de Ouro Preto.

Myrceugenia alpigena, *Byrsonima variabilis* e *Eremanthus erythropappus* apresentam potencial para serem utilizadas como organismos biosensores de poluição atmosférica por F no PEI, uma vez que não apresentaram sintomas visuais. O maior acúmulo de F em *M. alpigena*, e danos microscópicos consideráveis se comparados com as outras espécies, evidencia a utilização dessa espécie como biosensora no monitoramento de ambientes poluídos por F.

O estudo do impacto causado pela emissão de F, contribui para a compreensão dos fatores abióticos que estão afetando espécies do PEI e levando a alterações em comunidades e ecossistema. O conhecimento dos efeitos do F sobre estas espécies nativas do PEI, é de grande importância, podendo possibilitar a utilização das mesmas em programas de biomonitoramento de poluição ambiental, contribuindo assim para preservação das espécies presentes no PEI.

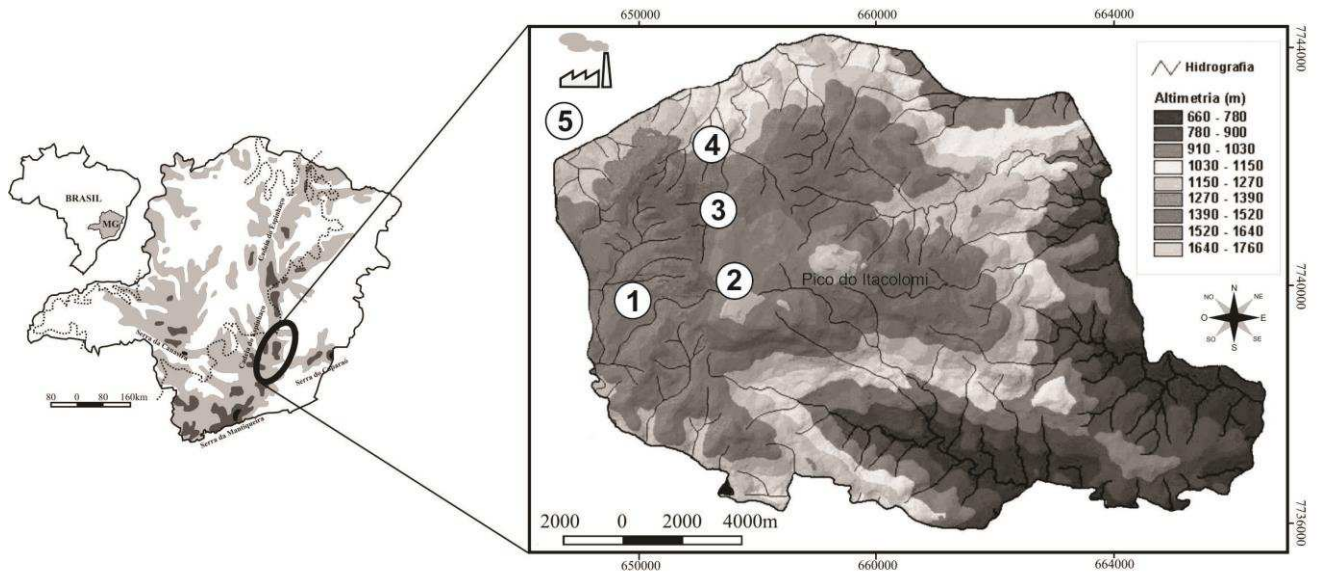


Figura 1. Localização do Parque Estadual do Itacolomi (PEI), situado próximo à usina, e dos pontos monitorados. 1. Capela. 2. Trilha para o Pico. 3. Antenas. 4. Próximo à portaria. 5. Próximo à usina, externamente ao PEI. Modificado de Coser *et al.* (2010).

Tabela 1. Distribuição das espécies vegetais por ponto monitorado no Parque Estadual do Itacolomi (PEI-MG). – = espécie ausente. X = espécie presente. Ponto 1 (Capela), Ponto 2 (Trilha para o Pico), Ponto 3 (Antenas), Ponto 4 (Próximo à portaria), Ponto 5 (Próximo à usina).

Espécies/Pontos amostrados	Ponto 1 (Capela)	Ponto 2 (Trilha para o Pico)	Ponto 3 (Antenas)	Ponto 4 (Próximo à portaria)	Ponto 5 (Próximo à usina)
<i>M. alpigena</i>	–	–	X	X	–
<i>B. variabilis</i>	X	X	X	X	X
<i>E. erythropappus</i>	X	X	X	X	–

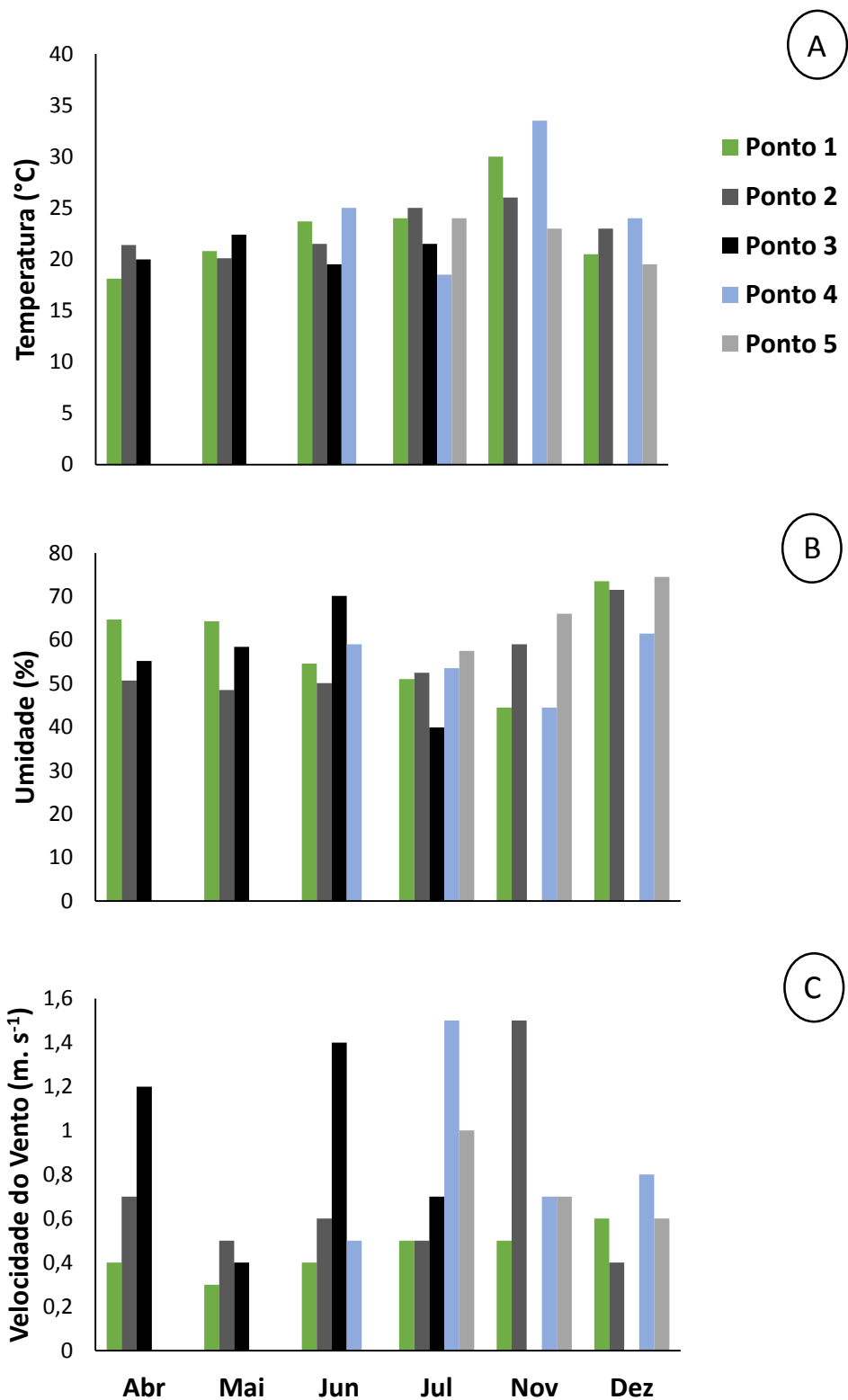


Figura 2. Análises microambientais nos diferentes pontos de monitoramento no Parque Estadual do Itacolomi, no período de Abril a Dezembro de 2014. A. Temperatura (°C). B. Umidade (%). C. Velocidade do Vento (m.s⁻¹). Ponto 1: Capela; Ponto 2: Trilha para o Pico; Ponto 3: Antenas; Ponto 4: Próximo à portaria; Ponto 5: Próximo a usina. Abr = Abril, Mai=Maio, Jun=Junho, Jul = Julho, Nov=Novembro, Dez= Dezembro.

Tabela 2. Altitudes e distância da Usina, dos diferentes pontos de monitoramento no Parque Estadual do Itacolomi, no período de Abril a Dezembro de 2014

Localização	Altitude (m)	Distância (Km) da Usina
Ponto 1 (Capela)	1278	3,83
Ponto 2 (Trilha para o Pico)	1508	4,33
Ponto 3 (Antenas)	1542	2,38
Ponto 4 (Próximo à portaria)	1140	1,62
Ponto 5 (Próximo à Usina)	1077	0,78

Tabela 3. Índice SPAD do limbo foliar das espécies monitoradas no PEI, nos meses de maio e outubro

	<i>B. variabilis</i>		<i>E. erythropappus</i>		<i>M. alpigena</i>	
	Maio	Outubro	Maio	Outubro	Maio	Outubro
Ponto 1	44,8 Aa	49,7 Aa	46,8 Aa	45,9 Aa	–	–
Ponto 2	44,6 Aa	46,4 Aa	45,2 Aa	45,4 Aa	–	–
Ponto 3	45,3a	–	40,4 a	–	52,7 a	–
Ponto 4	46,3 Aa	42,5 Aa	41,8 Aa	42,9 Aa	51,7 Aa	50,8 Aa

Letras maiúsculas na linha, comparam os meses numa mesma espécie. Letras minúsculas na coluna comparam a mesma espécie em diferentes pontos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna e linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

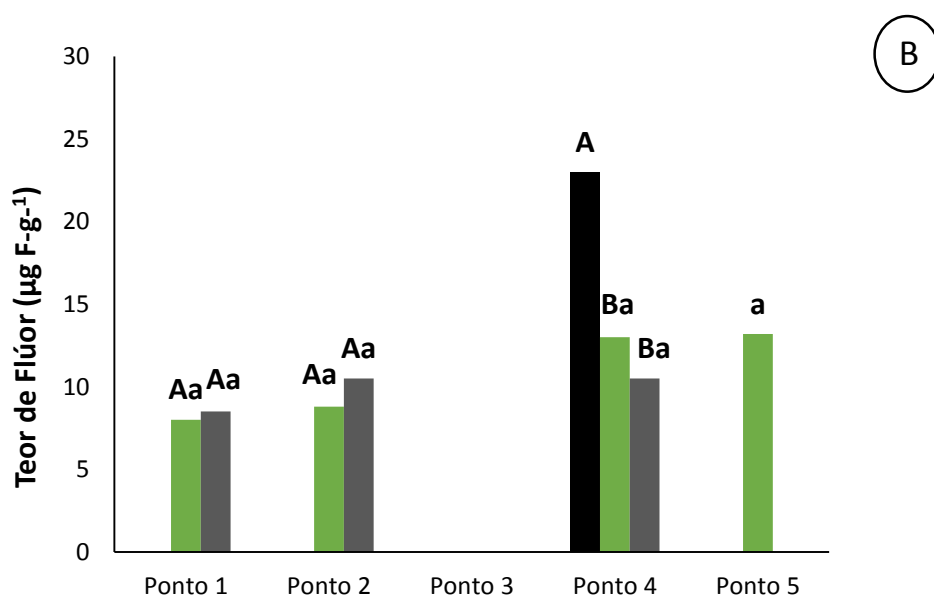
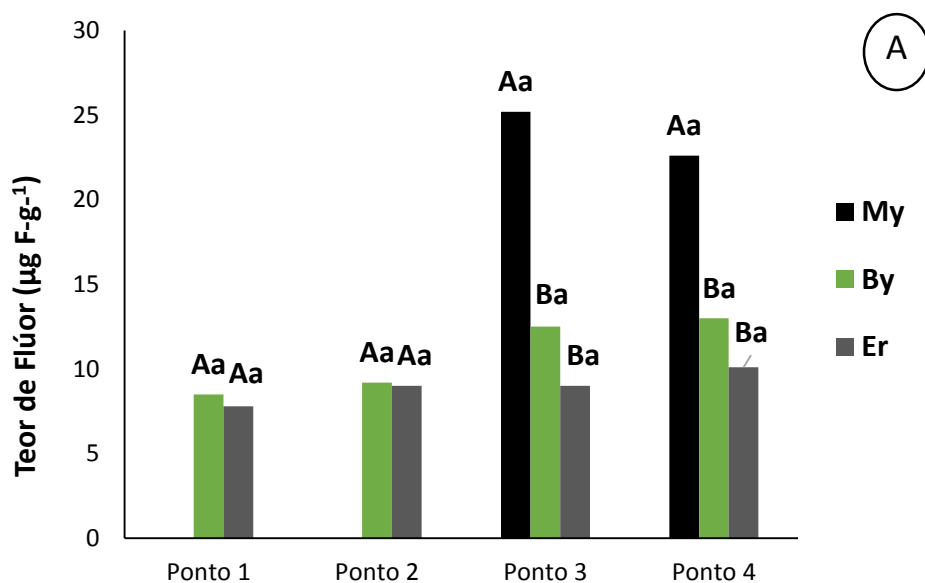


Figura 3. Teor de flúor ($\mu\text{g F-g}^{-1}$) em cada espécie por ponto monitorado. A. Quantificação realizada em julho de 2014. B. Quantificação realizada em novembro de 2014. Ponto 1: capela; Ponto 2: trilha para o Pico; Ponto 3: antenas; Ponto 4: próximo à portaria; Ponto 5: próximo à usina. My = *Myrceogenia alpigena*; By = *Byrsonima variabilis*; Er = *Eremanthus erythropappus*. Letras maiúsculas comparam as espécies num mesmo ponto; letras minúsculas comparam as mesmas espécies em diferentes pontos.

Tabela 4. Características químicas do solo dos cinco pontos monitorados no PEI. Ponto 1 - (capela); Ponto 2 – (trilha para o Pico); Ponto 3 – (antenas); Ponto 4 — (próximo à portaria); Ponto 5 – (próximo à usina)

Solos	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	MO
	mg/dm ³		cmolc /dm ³			mg/dm ³	dag/Kg					
Ponto 1	*2,5±0,2	28,0±7,0	0,16±0,0	0,08±0,0	0,76±0,1	30,1a±1,8	0,31±0,0	2,82±0,0	52,7±15,8	107,3±32,4	2,95±1,4	3,88±0,0
Ponto 2	3,3±0,5	27,0±19,1	0,14±0,0	0,07±0,0	1,50±0,4	13,4±3,9	0,43±0,0	1,31±1,3	23,1±24,1	302,3±266,1	2,05±0,5	2,38±0,1
Ponto 3	1,9±0,2	45,0±10,3	0,60±0,3	0,17±0,0	1,36±0,3	21,7±4,4	0,65±0,2	0,62±0,0	24,0±10,7	266,8±8,9	2,86±0,2	3,83±0,0
Ponto 4	1,6±0,5	62,3±20,2	0,50±0,0	0,18±0,0	1,16±0,1	25,6±3,8	0,55±0,0	2,49±0,2	58,9±23,5	95,8±7,2	2,90±0,7	5,45±0,0
Ponto 5	2,0b±0,1	29,0±11,5	0,41±0,1	0,16±0,0	0,66±0,1	28,2±2,7	0,48±0,1	4,64±0,3	551,5±41,5	50,1±5,2	2,29±0,8	4,05±0,2

* = Média ± Desvio Padrão. Valores mínimos e máximos (Ribeiro et al., 1999) adequados para: P = fósforo (2,7 - 12); K =potássio (15 - 120); Ca²⁺ = cálcio (0,4 - 4); Mg²⁺ = magnésio (0,15 - 1,5) ; Al = alumínio (0,2 - 2); S = enxofre (1,7 - 35); B = boro (0,1 - 0,9); Cu = cobre (0,3 - 1,8); Mn = manganês (2 - 12); Fe = ferro (8 - 45) ; Zn = zinco (0,4 - 2) ; MO = matéria orgânica (0,7 - 7).

Tabela 5. Teor de macronutrientes e micronutrientes de indivíduos de *Myrceugenia alpigena*, coletados no Parque Estadual do Itacolomi. Ponto 3 – (antenas); Ponto 4 — (próximo à portaria)

<i>M. alpigena</i>	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	N	Cu
	dag/Kg						mg/Kg
Ponto 3	*0,04±0,0 a	0,56±0,1 a	0,66±0,2 a	0,23±0,0 a	0,26±0,0 a	0,86±0,0 a	3,06±0,2 a
Ponto 4	0,04±0,0 a	0,43±0,0 a	0,33±0,0 a	0,13±0,0 a	0,13±0,0 b	0,73±0,0 b	4,36±0,9 a
	Mn	Fe	Zn	B	Ni	Pb	Cr
	mg/Kg						
Ponto 3	173,4±77,7 b	622,3±98,3 a	22,5±6,2 a	15,1±6,0 b	8,13±1,3 a	0,70±0,1 a	2,10±0,5 a
Ponto 4	559,5±176,7 a	903,7±171,2 a	18,1±2,3 a	32,1±5,0 a	2,26±4,2 a	0,76±0,8 a	1,46±0,3 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). * = média ± desvio padrão. P = fósforo; K = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; S = enxofre; N = nitrogênio; Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; B = boro; Ni = níquel; Pb = chumbo; Cr = cromo. Teores de nutrientes apresentados de acordo com Malavolta (2002), para valores adequados de nutrientes em plantas brasileiras.

Tabela 6. Teor de macronutrientes e micronutrientes de indivíduos de *Byrsonima variabilis*, coletados no Parque Estadual do Itacolomi. Ponto 1 - (capela); Ponto 2 – (trilha para o Pico); Ponto 3 – (antenas); Ponto 4 — (próximo à portaria); Ponto 5 – (próximo a usina)

<i>B. variabilis</i>	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	N	Cu
	dag/Kg						mg/Kg
Ponto 1	*0,05±0,0 a	0,20±0,0 a	0,83±0,4 a	0,06±0,0 abc	0,06±0,0 a	1,2±0,1 c	6,63±2,3 a
Ponto 2	0,04±0,0 a	0,30±0,0 a	0,73±0,2 a	0,04±0,0 c	0,05±0,0 a	1,0±0,1 c	3,43±0,1 a
Ponto 3	0,05±0,0 a	0,30±0,0 a	0,96±0,2 a	0,12±0,0 ab	0,08±0,0 a	1,13±0,3 c	4,63±0,2 a
Ponto 4	0,05±0,0 a	0,40±0,1 a	0,63±0,2 a	0,08±0,0 bc	0,12±0,0 a	4,36±0,1 b	4,36±0,1 a
Ponto 5	0,05±0,0 a	0,20±0,0 a	1,20±0,2 a	0,014±0,0 a	0,13±0,0 a	6,53±0,4 a	6,53±1,4 a
	Mn	Fe	Zn	B	Ni	Pb	Cr
	mg/Kg						
Ponto 1	429,5±135,0 b	613,6±142,1 a	15,8±3,2 a	24,9±2,3 a	2,26±1,0 a	1,56±0,9 a	1,93±0,3 a
Ponto 2	1502,7±520,1 a	543,3±92,0 a	12,3±2,5 a	22,4±2,5 a	3,26±1,3 a	0,53±0,4 a	1,66±0,2 a
Ponto 3	504,2±434,0 b	568,1±264,0 a	16,1±4,3 a	28,6±3,1 a	4,20±1,7 a	0,86±0,4 a	2,73±0,1 a
Ponto 4	316,1±300,3 b	686,7±378,6 a	11,5±1,3 a	30,7±11,4 a	3,66±1,0 a	2,30±1,0 a	2,83±0,8 a
Ponto 5	331,6±220,1 b	492,1±165,7 a	13,3±2,9 a	26,6±5,9 a	2,70±0,9 a	1,80±0,8 a	2,33±0,5 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). * = média \pm desvio padrão. P = fósforo; K = potássio; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; S = enxofre; N = nitrogênio; Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; B = boro; Ni = níquel; Pb = chumbo; Cr = cromo. Teores de nutrientes apresentados de acordo com Malavolta (2002), para valores adequados de nutrientes em plantas brasileiras.

Tabela 7. Teor de macronutrientes e micronutrientes de indivíduos de *Eremanthus erythropappus*, coletados no Parque Estadual do Itacolomi. Ponto 1 - (capela); Ponto 2 – (trilha para o Pico); Ponto 3 – (antenas); Ponto 4 — (próximo à portaria)

<i>E. erythropappus</i>	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	N	Cu
	dag/Kg						mg/Kg
Ponto 1	*0,12±0,0 a	0,75±0,1 b	0,44±0,1 ab	0,07±0,0 b	0,20±0,0 ab	1,65±0,3 a	17,3±3,1 b
Ponto 2	0,12±0,0 a	1,03±0,0 a	0,60±0,0 a	0,07±0,0 b	0,14±0,0 b	1,90±0,1 a	17,9±2,6 b
Ponto 3	0,11±0,0 a	1,20±0,0 a	0,48±0,0 ab	0,20±0,0 a	0,26±0,0 a	1,64±0,1 a	21,0±3,1 b
Ponto 4	0,08±0,0 b	1,30±0,0 a	0,34±0,0 b	0,07±0,0 b	0,21±0,0 ab	1,36±0,0 a	32,0±2,2 a
	Mn	Fe	Zn	B	Ni	Pb	Cr
	mg/Kg						
Ponto 1	2.429,8±497,3 a	375,8±57,1 a	58,9±9,2 a	21,1±4,7 c	6,46±2,5 b	2,63±0,8 a	0,00±0,0 b
Ponto 2	2.114,3±191,1 a	540,3±169,5 a	68,6±11,9 a	21,6±0,4 c	9,16±3,6 b	0,43±0,7 b	1,30±0,8 ab
Ponto 3	289,8±49,7 c	493,3±149,2 a	67,6±11,1 a	39,6±6,0 b	3,63±1,0 b	0,23±0,3 b	0,43±0,2 ab
Ponto 4	1.073,2±411,7 b	729,9±180,2 a	50,1±2,3 a	56,5±8,2 a	18,31±3,6 a	0,40±0,6 b	1,66±0,4 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). * = média ± desvio padrão. P = fósforo; K = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; S = enxofre; N = nitrogênio; Cu = cobre; Mn = manganês; Fe = ferro; Zn = zinco; B = boro;

Ni = níquel; Pb = chumbo; Cr = cromo. Teores de nutrientes apresentados de acordo com Malavolta (2002), para valores adequados de nutrientes em plantas brasileiras.

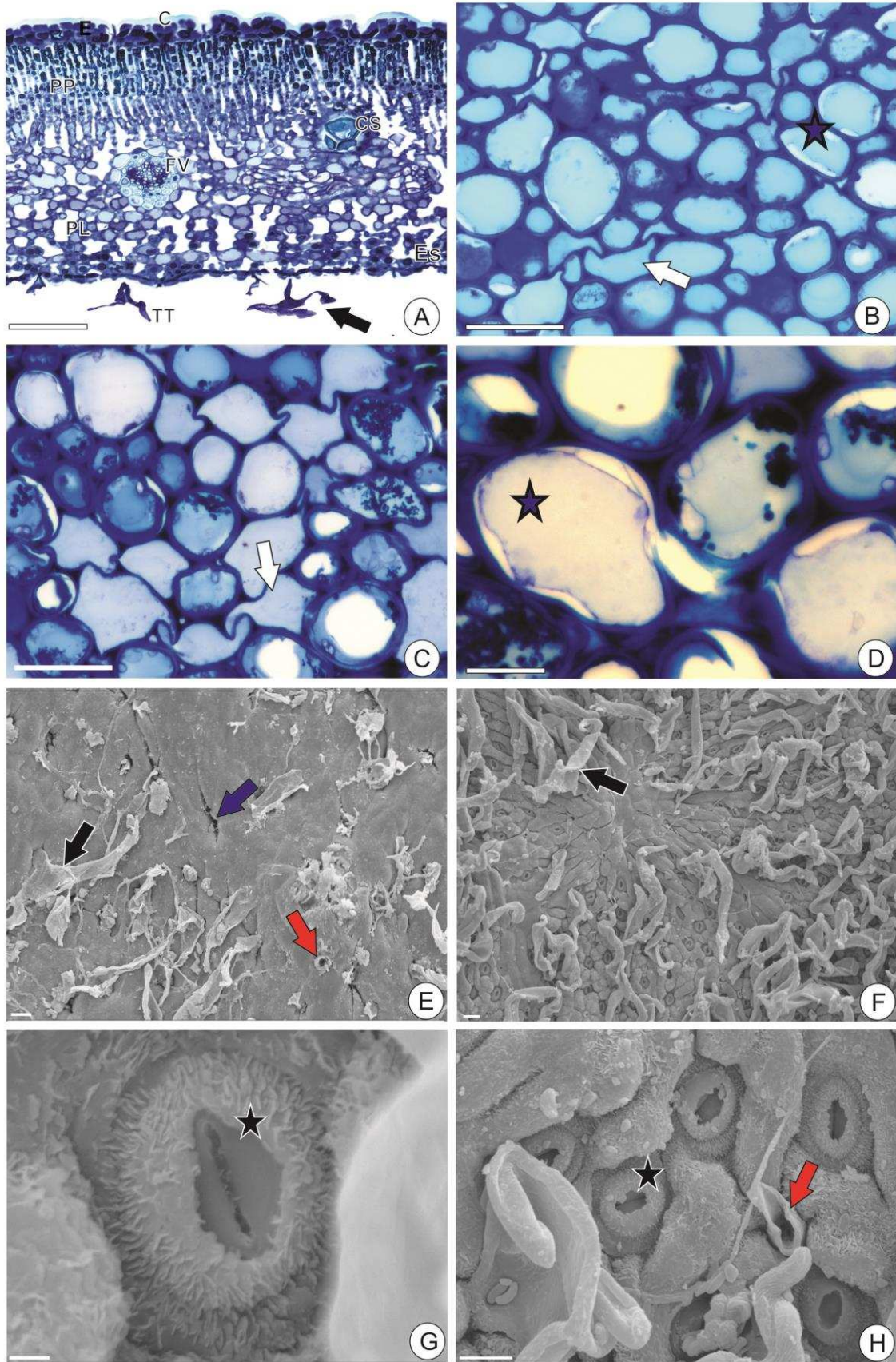


Figura 4. Lâminas foliares de *Myrceugenia alpigena* monitoradas no Parque Estadual do Itacolomi (PEI). A – D. Microscopia de luz, em secção transversal. E – H. Microscopia

Eletrônica de Varredura. A, B, E, G. Ponto 3 (Antenas). C, D, F, H. Ponto 4 (Próximo a portaria). (setas pretas) Tricoma tector danificado. (setas brancas) Células com formato alterado. (setas vermelhas) Base de tricoma perdido. (seta azul) Formação de sulcos. (estrelas azuis) Retração de protoplastos. (estrelas pretas) Estômato com crista danificada. C. Cutícula. E. Epiderme. PP. Parênquima Paliçádico. CS. Canal Secretor. FV. Feixe Vascular. PL. Parênquima Lacunoso. Es. Estômato. TT. Tricoma Tector. E. Face adaxial. F, G, H. Face abaxial. Escalas. A = 100 μm . B, C = 50 μm . D, E, F = 20 μm . G = 2 μm . H = 10 μm .

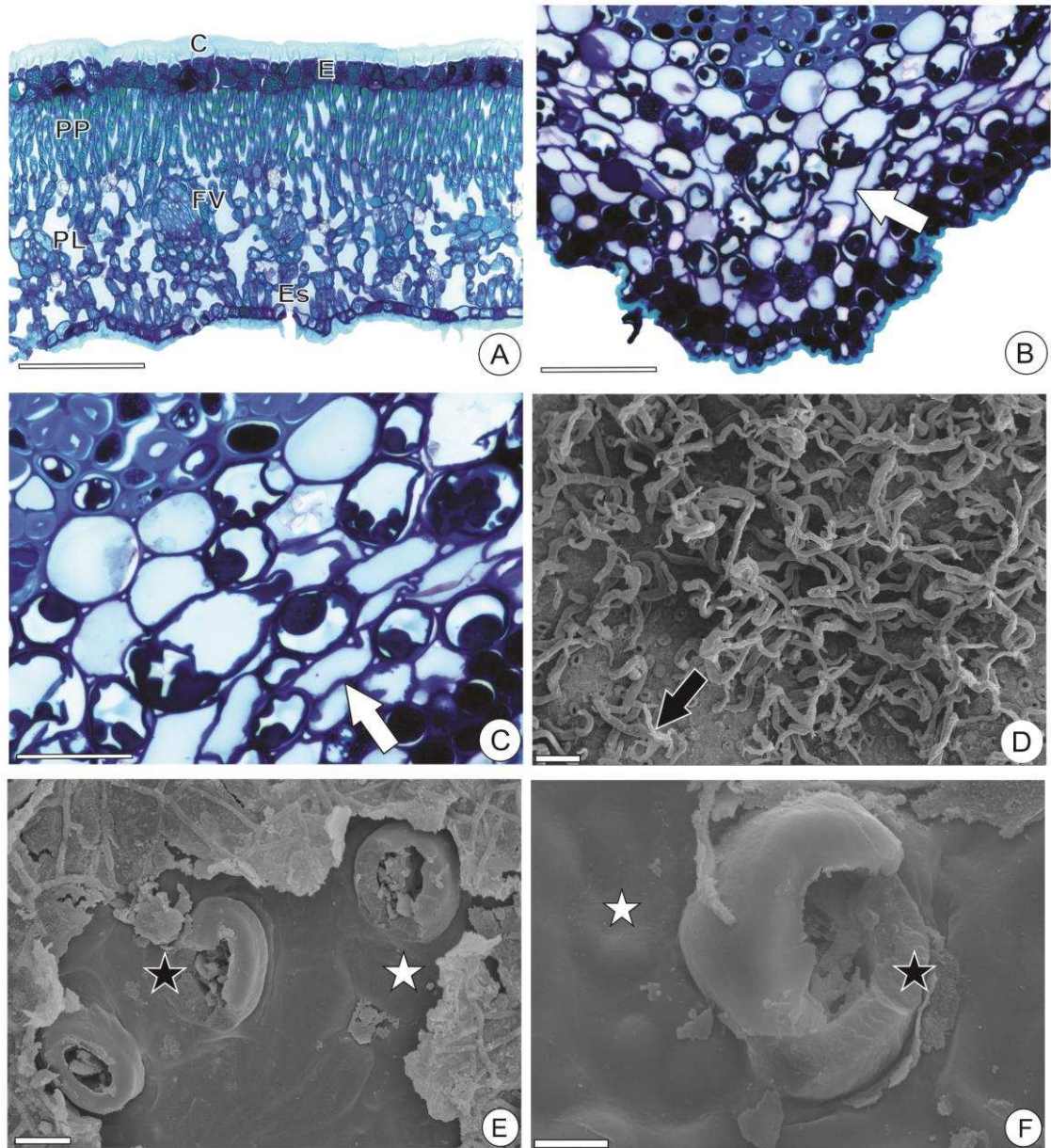


Figura 5. Lâminas foliares de *Byrsonima variabilis* monitoradas no Parque Estadual do Itacolomi (PEI). A – C. Microscopia de luz, em secção transversal. D – F. Microscopia Eletrônica de Varredura. A, E. Ponto 1 (capela). B, C. Ponto 3 (antenas). D, F. Ponto 4 (Próximo à portaria). (setas brancas) Células com formato alterado. (setas pretas) Tricomas flácidos. (estrelas pretas) Estômatos com ruptura das cristas. (estrelas brancas) Cera epicuticular erodida. C. Cutícula. E. Epiderme. PP. Parênquima Paliçádico. FV. Feixe Vascular. PL. Parênquima Lacunoso. Es. Estômato. D, E, F. Face abaxial. Escalas. A, B, D = 100 μm . C = 50 μm . E = 20 μm . F = 10 μm .

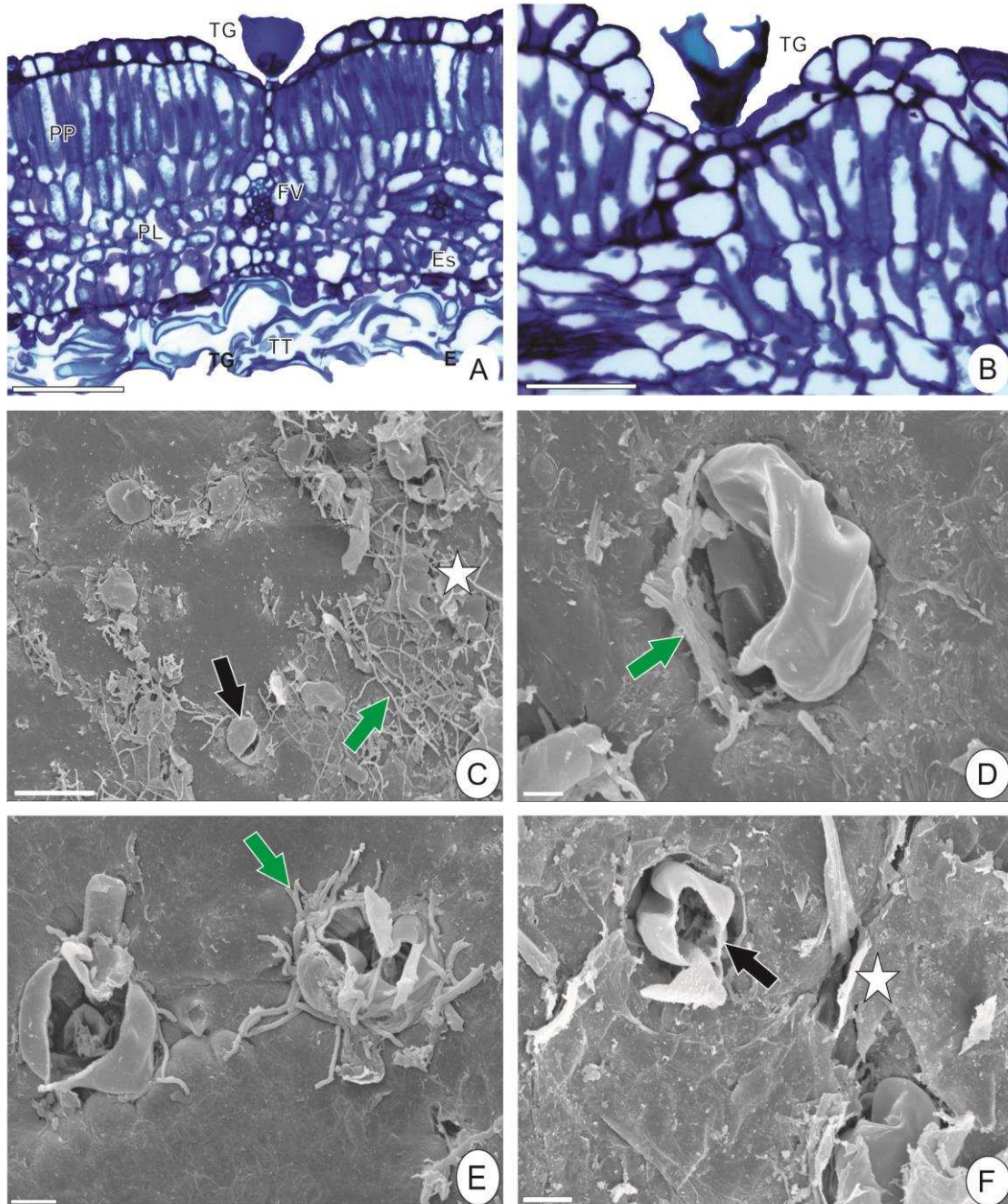


Figura 6. Lâminas foliares de *Eremanthus erythropappus* monitoradas no Parque Estadual do Itacolomi (PEI). A, B. Microscopia de luz, em secção transversal. C – F. Microscopia Eletrônica de Varredura. A, C. Ponto 1 (Capela) B, E. Ponto 3 (Antenas). D. Ponto 2 (Trilha para o Pico). F. Ponto 4 (Próximo à portaria). (TG) Tricomas glandulares alterados. (setas verdes) Proliferação de hifas fúngicas. (setas pretas) Tricomas glandulares danificados. (estrelas brancas) Erosão da cera epicuticular. PP. Parênquima Paliçádico. FV. Feixe Vascular. PL. Parênquima Lacunoso. Es. Estômato. TT. Tricoma tector. C, D, E, F. Face adaxial. Escalas. A, C = 100 μ m. B = 50 μ m. D = 10 μ m. E, F = 20 μ m.

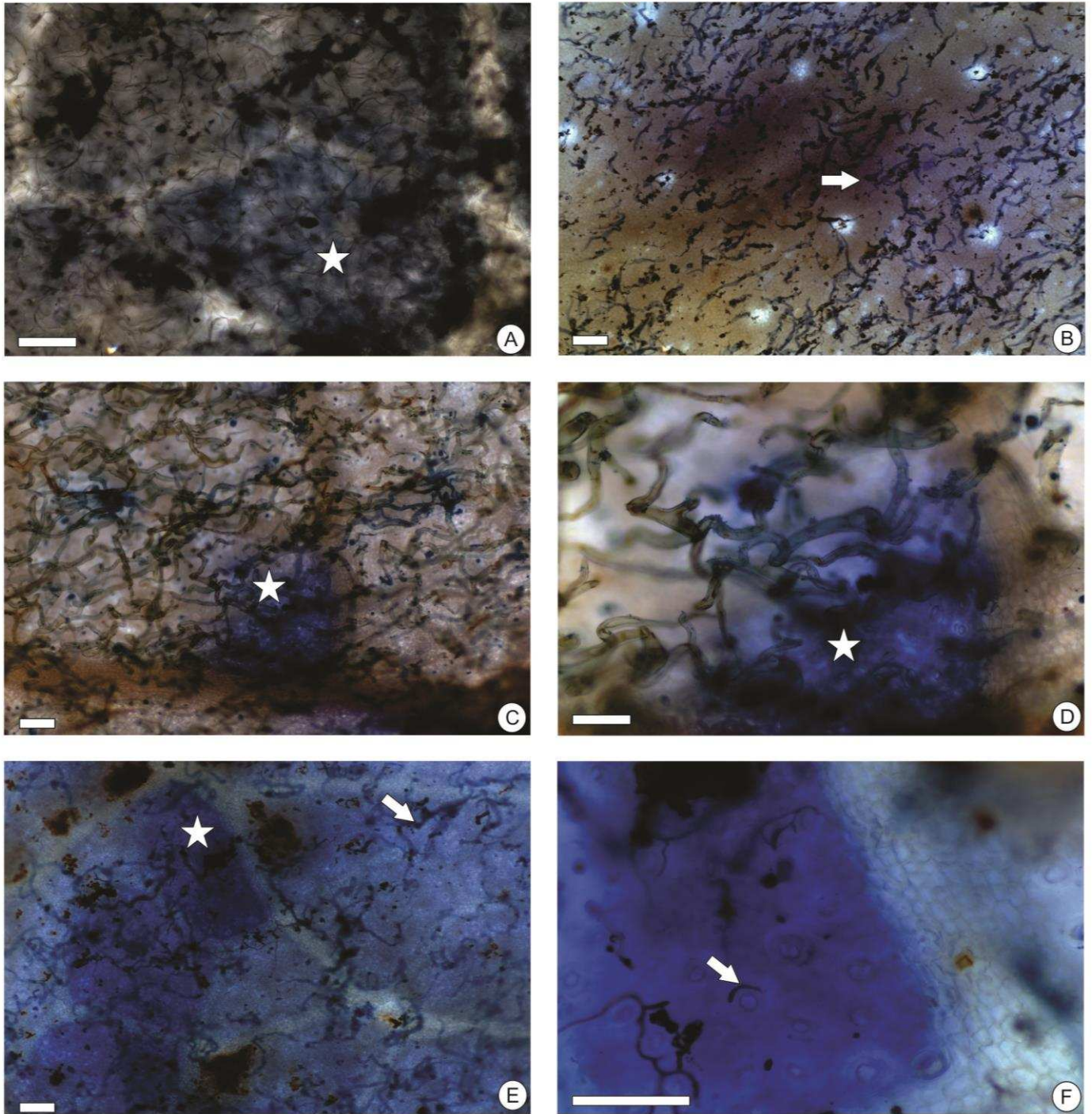


Figura 7. Morte celular em folhas de plantas às emissões de uma usina no Parque Estadual do Itacolomi (PEI). Teste histoquímico com Azul de Evans, em diafanização. A. *E. erythropappus*, Ponto 2 (Trilha para o Pico), (estrela) Grupo de células mortas. B. *M. alpigena*, Ponto 4 (Próximo à portaria), (seta) Tricomas tectores alterados. C, D. *B. variabilis*, Ponto 1 (Capela), (estrela). Grupo de estômatos alterados. E, F. Ponto 5

(Próximo à usina), E. (estrela) Grupos de células mortas, (seta) Tricomas tectores alterados. F. (seta) Estômatos corados de azul. Escalas. A, D, F = 100. B, C, E = 150 μm .

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. **New York: Springer Verlag.** 533p.

Alves, E.S., Moura, B.B., Pedroso, A.N.V., Tresmondi, F., Domingos, M. 2011. The efficiency of tobacco Bel-W3 and native species for ozone biomonitoring in subtropical climate, as revealed by histocytochemical techniques. **Environmental Pollution** 159: 3309-3315.

Amaral, F. 1997. Controle do flúor na água de beber. Técnica simplificada para o cirurgião dentista praticar em sua localidade. **Revista Gaúcha de Odontologia** 45: 296-298.

Arndt, U.; Flores, F.; Weinstein, L. 1995. Efeitos do flúor sobre as plantas: diagnose de danos na vegetação do Brasil. **Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** 155p.

Buss, D.F.; Baptista, D.F.; Nessimian J.L. 2003. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública.** 19: 465-473.

Chaves, A.L.F.; Silva, E.A.M.; Azevedo, A.A.; Cano, M.A.O.; Matsuoka, K. 2002. Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (capim-Rhodes) – Poaceae. **Acta Botanica Brasilica** 16: 395-406.

CONAMA. 1986. Resolução nº 001, **Brasil, República Federativa.**

Correa, T, L. 2006. Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos, o efeito da cadeia trófica. **Dissertação mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.** 143p.

Coser, T.S.; Paula, C.C.; Wendt, T. 2010. Bromeliaceae Juss. nos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia** 61: 261 - 280.

De Temmerman, L.; Bell, J.N.B.; Garrec, J.P.; Klumpp, A.; Krause, G.H.M.; Tonneijck, A.E.G. 2004. Biomonitoring of air pollutants with plants – considerations for the future. In: **A. Klumpp; W. Ansel e G. Klumpp (eds.): Urban air pollution, bioindication and environmental awareness**. Göttingen, Cuvillier Verlag. 25 : 337-373.

Divan Junior, A.M.; Oliva, M.A.; Ferreira, F.A. 2008. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brazil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. **Ecological Indicators** 8: 454-461.

Divan Junior, A.M.; Oliva, M.A.; Martinez, C.A.; Cambraia, J. 2007. Effects of fluoride emissions on two tropical grasses: *Chloris gayana* and *Panicum maximum* cv. Colonião. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 67: 247-253.

Domingos, M.; Alves, E.S.; Bulbovas, P.; Cunha, A.L.; Longui, E.L.; Lourençon, D.A.C.B.; Moraes, R.M.; Rinaldi, M.C.S.; Mazzoni-Viveiros, S.C. 2004. Reaction of *Caesalpinia echinata* Lam., a Brazilian tree species, to urban air pollution stress. In Urban air pollution, bioindication and environmental awareness (A. Klumpp, W. Ansel & G. Klumpp, eds.). **Cuvillier Verlag, Göttingen**, pp. 279-287.

EMBRAPA. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. 212p.

Faoro, F., Iriti, M., 2005. Cell death behind invisible symptoms: early diagnosis of ozone injury. **Biologia Plantarum** 49: 585-592.

Ferreira, D.F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)** 35: 1042 p.

Fialho, R.C. 1997. Acumulação foliar de fluoretos e seu significado ecológico em espécies arbóreas da Mata Atlântica, Cubatão, SP. **Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo**.

Fornasiero, R.B. 2001. Phytotoxic effects of fluorides. **Plant Science** 161: 979-985.

Fornasiero, R.B. 2003. Fluorides effects on *Hypericum perforatum* plants: first field observations. **Plant Science**. 165: 507-513.

Fujaco, M.A.G. Influência dos diferentes tipos de substrato e geomorfologia na distribuição espacial e estrutura arquitetônica do gênero *Eremanthus sp.*, no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto/MG. Ouro Preto: **Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 2007. 140p. (Dissertação de Mestrado).**

Gaff, D.F.; Okong'O-gola, O. 1971. The use of nonpermeating pigments for testing the survival of cells. **Journal of Experimental Botany**. 22: 757-758.

Gerosa, G., Marzuoli, R., Rossini, M., Panigada, C., Meroni, M., Colombo, R., Faoro, F., Iriti, M., 2009. A flux-based assessment of the effects of ozone on foliar injury, photosynthesis, and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Borlotto Nano Lingua di Fuoco) in open-top chambers. **Environmental Pollution**. 157: 27-36.

Gerrits, P.O., 1964. The Application of Glycol Methacrylate Histotechnology: Some Ground Principles. **Leica GmbH, Germany.**

Kamaluddin, M. e Zwiazek, J.J. 2003. Fluoride inhibits root water transport and effects leaf expansion and gas exchange in aspen (*Populus tremuloides*) seedling. **Physiologia Plantarum**. 117:368-375.

Karnovsky, M.J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology** 27: 37-138.

Kato, T.; Sato, N.; Hayama, S. et al. 2007. Activation of Holliday junction recognizing protein involved in the chromosomal stability and immortality of cancer cells. **Cancer research**, 67: 44-53.

Malavolta, E.; Favarin, J. L.; Malavolta, M. et al. 2002. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa agropecuária Brasil**, 37:1017-1022 p.

Markwell J, Osterman JC & Mitchell JL. 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research** 46: 467-472.

Messias, M.C.T.B.; Dias, S.J.L.; Roschel, M.B.; Souza, H.C.; Silva, J.L.; Matos, A.V.M. 1997. Levantamento florístico das matas e distribuição de algumas espécies

endêmicas da região na área do Parque do Itacolomi. **UFOP / BIRD / IEF / PROFLORESTA. Relatório Técnico (polígrafo)**, Ouro Preto. 151p.

Miller, G.W. 1993. The effect of fluoride on higher plants. **Fluoride** 26: 3-22.

O'Brien, T.P.; McCully, M.E. 1981. The study of plants structure principles and select methods. **Termarcaphi Pty.** Ltda, Melbourne-Australia, 45p.

Oliva, M.A.; Figueiredo, J.G. 2005. Gramíneas bioindicadoras de flúor em regiões tropicais. **Revista Brasileira de Botânica** 28: 389-397.

Pasini, S.D. 2011. Imissões de flúor: uma ameaça às Bromeliaceae do Parque Estadual do Itacolomi (PEI) – MG?. **Monografia, Universidade Federal de Viçosa.** 36p.

Peixoto, P.H.P.; Pimenta, D.S.; Antunes, F. 2005. Efeitos do flúor em folhas de plantas aquáticas de *Salvinia auriculata*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40: 727-734.

Pita-barbosa, A.; Sant'anna-Santos, B.; Silva, K.L.F.; Azevedo, A.A.; Rocha, D.I. 2009. Efeitos fitotóxicos do fluoreto na morfoanatomia foliar de *Bachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich) e *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae). **Acta Botânica Brasílica** 23: 1027-1033.

Pompéia, S.L. 2000. Respostas das Plantas nativas Brasileiras à Poluição. In: W. Larcher (ed.). **Ecofisiologia Vegetal.** Ed. Rima, São Carlos: p.449-454.

Pozza, A.A.A.; Alves, E.; Pozza, E.A.; Carvalho, J.G.; Montanari, M.; Guimarães P.T. G.; Santos, D. M.. 2004. Efeito do silício no controle da cercosporiose em Três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia brasileira** 29: 185-188.

Reddy, M.P.; Kaur, M. 2008. Sodium fluoride induced growth and metabolic changes in *Salicornia brachiata* Roxb. **Water, Air Soil Pollution** 188: 171-179.

Ribeiro, A.C.; Guimaraes, T.P. ; Alvarez, V.H. 1999. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5º Aproximação. **Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.**

Sant'Anna-Santos, B.F.; Azevedo, A.A. 2007. Aspectos morfoanatômicos da fitotoxicidade do flúor em duas espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Biociências** 5: 48-50.

Sant'Anna-Santos, B.F.; Azevedo, A.A. 2010. Toxicidade e acúmulo de flúor em hortaliças nas adjacências de uma fábrica de alumínio. **Acta Botânica Brasílica** 24: 952-963.

Sant'Anna-Santos, B.F.; Azevedo, A.A.; Silva, L.C.; Oliva, M.A. 2012. Diagnostic and prognostic characteristics of phytotoxicity caused by fluoride on *Spondias dulcis* Forst. F. (Anacardiaceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 84: 689-702.

Santos, E.L.C. 2013. Avaliação da qualidade do ar no Parque Estadual do Itacolomi (PEI- MG) utilizando *Spondias dulcis* Forst f. (Anacardiaceae) como organismo bioindicador. **Dissertação (mestrado em Botânica), Universidade Federal de Viçosa**. 56p.

Schubert, R, 1991. Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Fischer Verlag
Treshow, M.; Anderson, F.K. **Plant stress and air pollution**. New York: John Willey & Sons, 283p.

Silva, L.C; Oliva, M.; Azevedo, A.A.; Silva, E.A.M.; Oliva, M.A. 2000. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. **Revista Brasileira de Botânica** 23: 385-393.

Silveira, P.M; Braz, A.J. 2003. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 1083-1087.

Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H; Volkweiss, S.J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2º edição. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre**. 174p.

Treshow, M., Anderson, F.K. 1991. **Plant stress from air pollution**. John Wiley & Sons, Chichester.

Weinstein, L.H. 1977. Fluoride and plant life. **Journal of Occupational Medicine** 19: 49-78.

Weinstein, L.H., Hansen, K.S., 1988. Relative susceptibilities of Brazilian vegetation to airborne fluoride. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 23: 1125–1137.

Weinstein, L.H.; Davison, A.W. 2003. Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. **Environmental Pollution** 125: 3-11.

Weinstein, L.H.; Davison, A.W. 2004. **Fluorides in the environment**. Oxford: CABI Publishing, 287 p.