



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**INVESTIGAÇÃO DE POSSÍVEIS OBSTRUÇÕES SÍLICO-ALUMINOSAS EM
TECIDOS CONDUTORES EM *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS*
RELACIONADAS À SENESCÊNCIA E MORTE DE PLANTAS**

LUCÉLIA PARREIRA VASCONCELOS

2007

LUCÉLIA PARREIRA VASCONCELOS

INVESTIGAÇÃO DE POSSÍVEIS OBSTRUÇÕES SÍLICO-ALUMINOSAS EM
TECIDOS CONDUTORES EM *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS*
RELACIONADAS À SENESCÊNCIA E MORTE DE PLANTAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa

Co-orientador

Prof. Dr. Lísias Coelho

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V331i Vasconcelos, Lucélia Parreira, 1982-
Investigação de possíveis obstruções sílico-aluminosas em tecidos
condutores em Pinus Caribaea Var. Hondurensis relacionadas à
senescência e morte de plantas / Lucélia Parreira Vasconcelos. - 2007.

43 f.: il.

Orientador: Gilberto Fernandes Corrêa.

Co-orientador: Lísias Coelho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Pinheiro - Teses. 2. Pinheiro - Doenças - Teses. I. Corrêa, Gilberto Fernandes. II. Coelho, Lísias. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 633.94

LUCÉLIA PARREIRA VASCONCELOS

INVESTIGAÇÕES DE POSSÍVEIS OBSTRUÇÕES SÍLICO-ALUMINOSAS DE
TECIDOS CONDUTORES EM *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS*
RELACIONADAS À SENESCÊNCIA E MORTE DE PLANTAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 23 de novembro de 2007.

Prof. Dr. Fabrício de Ávila Rodrigues

UFV

Prof. Dr. Lísias Coelho
(co-orientador)

UFU

Dr. Regina Maria Quintão Lana

UFU

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jesus Cristo, nosso pai maior, por me guiar nessa jornada da vida.

Aos meus pais, pela dedicação e amor nas horas mais difíceis.

À minha irmã e meu irmão, pelo incentivo oferecido em todos os momentos.

Ao meu noivo, Rodrigo, pela companhia e apoio em todas as decisões.

Ao professor Dr. Gilberto Fernandes Corrêa, pela orientação durante a condução deste trabalho.

Ao professor Dr. Lísias Coelho, por sua atenção a cada dúvida que surgia durante todo tempo.

Aos professor Dr. Fabrício de Ávila Rodrigues e à professora Dra. Regina Maria Quintão Lana, por aceitarem compartilhar suas idéias em benefício deste trabalho.

Aos funcionários, Sr. Joaquim e Sr. Péricles, pelo auxílio na parte de campo deste trabalho.

À professora Dra. Eloísa Amália Vieira Ferro, do Instituto de Ciências Biomédicas, pela paciência na utilização do Critical Point Dryer..

Ao professor Dr. Sinésio Domingues Franco, da Faculdade de Engenharia Mecânica, pela ajuda nas análises através do Microscópio Eletrônico de Varredura.

Às empresas Satipel Industrial S.A. e Pinusplan Reflorestamento Ltda., pela oportunidade de desenvolver este estudo.

Enfim, a todos que contribuíram por esta vitória.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 A cultura do <i>Pinus</i>	4
2.2 Características anatômicas.....	5
2.3 Características gerais da silvicultura.....	7
2.3.1 Silvicultura no Brasil.....	9
2.3.2 Áreas de cerrado no oeste de Minas Gerais.....	10
2.4 Aspectos nutricionais do <i>Pinus</i>	11
2.5 Relação Si/Al na planta.....	13
2.6 Amarelecimento das acículas de <i>Pinus caribaea</i> Morelet.....	15
2.6.1 Problemas fitopatológicos.....	15
2.6.2 Problemas nutricionais.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Áreas amostradas.....	17
3.2 Material botânico.....	17
3.3 Análises laboratoriais.....	20
3.3.1 Microanálise dos elementos químicos	20
3.3.1.1 Preparo das amostras para análise ao MEV.....	20
3.3.1.2 Observações ao microscópio.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22

5 CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
APÊNDICES.....	37
Apêndice A.....	37
Apêndice B.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Talhão de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> mostrando o critério utilizado na escolha das árvores a serem amostradas. Plantas de <i>Pinus caribaea</i> nos estágios 1, e 2 (a) e nos estágios 3, 4 e 5 (b) revelando as diferentes classes de coloração da copa.....	18
FIGURA 2. Amostragem da parte aérea: depois de tombada a árvore selecionada (a), coletou-se o ponteiro terminal do fuste (b).....	19
FIGURA 3. Procedimento de exposição de raízes para coleta.....	19
FIGURA 4. Aspecto dos discos de raízes (a) e ponteiros (b) de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> , os quais constituíram as amostras para análise ao MEV.....	20
FIGURA 5. Micrografias de tecidos do ponteiro da copa de uma planta sadia (estágio 1), apresentando uma vista geral das estruturas em seção transversal (a) e, em detalhe, ponto analisado (parede de estrutura condutora) (b) e estrutura de aspecto nodular (c).....	21
FIGURA 6. Proporção de Al e Si em tecidos (xilema e floema) da parte aérea em planta de <i>Pinus Caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> sadia (estágio 1).....	23
FIGURA 7. Micrografia de tecidos do lenho (a) correspondente ao ponteiro da copa de uma planta morta (estágio 5), com indicação do ponto (1) analisado pela microsonda de raios-X e respectivo espectro (b), revelando virtual ausência de Al e Si.....	24
FIGURA 8. Proporção de Al e Si no xilema e no floema de raiz em planta no estágio de senescência 4.	25

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Estágios e descrição das respectivas características das plantas.....	18
TABELA 2. Teores de Al, Si e relação Al/Si no material de plantas normais, em senescência e mortas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> nas duas áreas amostradas.....	22

APÊNDICES

Página

Apêndice A

TABELA 1A. Teores de carbono (C), oxigênio (O), alumínio (Al), silício (Si) e relação Al/Si em tecidos de plantas normais, em senescência e mortas de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> em duas áreas de amostragem.....	37
--	----

Apêndice B

FIGURA 1B. Proporção de Al e Si no xilema e no floema da parte aérea (ponteiro), em uma planta sadia (estágio 1).....	38
---	----

FIGURA 2B. Proporção de Al e Si no floema da parte aérea de uma planta sadia (estágio 1), em três pontos (A, B e C) de direcionamento da microsonda de raios-X.....	38
---	----

FIGURA 3B. Proporção de Al e Si, no floema de raiz em plantas com acículas de coloração verde-amarelada (estágio 2), e com acículas de coloração amarela (estágio 3).....	39
---	----

FIGURA 4B. Proporção de Al e Si, no floema de raiz de planta morta (estágio 5), em três pontos (A, B e C) analisados pela microsonda de raio-X	39
--	----

FIGURA 5B. Micrografia de tecidos do floema do ponteiro da parte aérea, em planta sadia (estágio 1) (a), e respectivo espectro de raios-X no ponto 1, mostrando pequena presença de Al e ausência de Si (b).....	40
--	----

FIGURA 6B. Espectro de raios-X de uma planta sadia (estágio 1), mostrando pequena presença de Al e Si.....	40
--	----

FIGURA 7B. Micrografia de tecido do floema no ponteiro da copa, em planta sadia (estágio 1) (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado à parede de uma estrutura condutora (ponto 1), mostrando presença de Al e Si (b).....	41
---	----

FIGURA 8B. Micrografia de tecidos do floema em raiz de planta no estágio 2 (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado a uma estrutura de aspecto nodular (1), mostrando presença de Al e Si (b).....	41
---	----

FIGURA 9B. Micrografia de tecidos do floema, na porção terminal (ponteiro) da parte aérea de planta no estágio 3 (a) e respectivo espectro	
--	--

de raios-X referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).....	42
FIGURA 10B. Micrografia de tecidos do xilema em raiz de planta no estágio 4 (a) e respectivo espectro de raios-X, referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).....	42
FIGURA 11B. Micrografia de tecidos do floema em uma raiz de planta morta (estágio 5) (a), e respectivo espectro de raios-X referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).....	43
FIGURA 12B. Micrografia de tecidos do floema em radicular em uma planta morta (estágio 5) (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).....	43

RESUMO

VASCONCELOS, LUCÉLIA PARREIRA. **Investigação de possíveis obstruções sílico-aluminosas em tecidos condutores em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* relacionadas à senescência e morte de plantas.** 2007. 43 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Nos maciços florestais de *Pinus* tropicais implantados na década de setenta em áreas de cerrado, nos chapadões das regiões do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba (MG), vem se observando a senescência (amarelecimento e queda de acículas) seguida de morte de plantas adultas. Estudos precedentes mostraram uma relação estreita deste quadro fisiológico com deficiências nutricionais. Sabe-se, no entanto, que as sementes usadas na implantação destes maciços apresentavam grande variabilidade genética, a qual está bem expressada na diversidade de comportamento das plantas, uma vez que parte delas permanece sadia enquanto outras entram em processo de senescência de intensidade variável, culminando com a morte da planta. Com o intuito de prosseguir investigações nesta linha de estudo, foi desenvolvido este trabalho, com base na hipótese de que polímeros associados à presença de silício (Si) estariam obstruindo traqueídeos e assim contribuindo para um colapso nutricional de plantas. Para este estudo, foram amostrados segmentos de raízes e do ponteiro de plantas aparentemente normais (acículas verdes), em diferentes estágios de senescência (acículas amareladas) e mortas. Estas amostras, após secagem ao ponto crítico foram observadas em um microscópio eletrônico de varredura acoplado de uma microsonda de raios-X. Constatou-se a presença de Si e alumínio (Al) nos tecidos do xilema e do floema tanto na parte aérea como em raízes, sendo que os maiores teores encontram-se no xilema das raízes. Todavia, não foi constatada obstrução ou qualquer presença de corpos sílico-aluminosos nos tecidos condutores das partes analisadas. Verificou-se, no entanto, que a presença de Si em associação ao Al ocorre segundo uma relação Al/Si da ordem de 2,6. Os dados revelaram ainda que a amplitude de variação do Si é de 1,5 vezes maior que a do Al.

Palavras-chave: *Pinus*, doença abiótica, solo fase cerrado, silvicultura.

¹Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa - UFU

ABSTRACT

VASCONCELOS, LUCÉLIA PARREIRA. **Investigation of possible silicon-aluminium obstructions in the vascular bundle in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* related to plant senescence and death.** 2007. 43 p. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

Senescence (yellowing and needle drop) and death of mature plants has been observed in tropical pine forest stands established in the seventies in savannah areas of the “Triângulo Mineiro” and “Alto Paranaíba” (MG) regions. Previous studies showed a close relationship between these physiologic patterns with nutrient deficiencies. Also, it is known that the seeds used in the establishment of forest presented great genetic variability, which is expressed on the diversity of plant performance, since part of them remains healthy while another part shows a decline and death process, with variable intensity. This study was conducted as a continuation of the research line, based on the hypothesis that polymers associated with silicon (Si) would be obstructing the tracheids, thus contributing for plant nutritional collapse. Segments of roots and apical shoots of plants apparently healthy (green needles), in different senescence stages (yellowing needles) and dead were collected. These samples were processed and dried in a critical point dryer and analyzed in a scanning electron microscope coupled with an X-ray microprobe. The presence of Si and aluminium (Al) in xylem and phloem tissues was observed on shoots and roots. However, no obstruction or the presence of any Si-Al body in the conducting tissues was found. Moreover, the presence of Si was associated with Al according to a relation Al/Si of 2.6. The data also revealed that the Si variation range was 1.5 times greater than that of Al.

Keywords: pines, abiotic disease, soil savannah phase, silviculture.

¹Advisor: Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa - UFU

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de crescimento na produção de derivados das florestas, trouxe fortes tendências para mudanças significativas na forma de uso da terra, com a adoção de sistemas produtivos sustentáveis, utilizando espécies exóticas de rápido crescimento, principalmente, com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

De acordo com Suassuna (1977), quando as espécies que desenvolvem naturalmente numa determinada região apresentam crescimento muito lento, madeira de qualidade inferior, exigências de clima e fertilidade de solo, é mister importar espécies de outra região.

Implantados principalmente no início da década de 70, os maciços florestais de pinus situam-se, em geral, nos chapadões extensamente dominados por Latossolos de textura muito argilosa e caráter ácrico (EMBRAPA, 2006). Correspondem ao subgrupo Typic Acrustox, de acordo com a Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 1975; EMBRAPA, 1982). Além destas características edáficas, que revelam um quadro de extrema pobreza química, nas áreas mais extensamente planas o lençol freático pode oscilar muito durante o ano e apresentar-se raso durante o período chuvoso. Há, portanto, limitações de ordem pedológica que, se não consideradas no manejo florestal, constituem ou induzem condições que podem estar na origem de problemas nutricionais, que estariam levando os pinheiros a um processo de senescência precoce em relação às plantas arbóreas (CHAVES, 2002).

Os pinus apresentam, sobre as demais essências florestais, vantagens como: precocidade de desenvolvimento e rusticidade; facilidade e pouca exigência de formação; grande número de produtos e subprodutos; boa rentabilidade agrícola e econômica (GALETI, 1976).

O monocultivo de pinus proporciona um ambiente uniforme, modifica a diversidade de substrato para a biota do solo, alterando, por sua vez, alguns atributos biológicos, como, por exemplo, C-biomassa e respiração microbiana do solo, além de alterar a densidade e diversidade da fauna edáfica (BARETTA et al., 2003).

Nos últimos cinco anos do século XX ocorreu redução do estoque de área reflorestada no Brasil. Houve decréscimo de cerca de 420 mil hectares de áreas ocupadas com reflorestamento (BACHA; BARROS, 2004).

No Estado de São Paulo, as plantações comerciais de pinus foram implantadas na década de 1950, pelo Instituto Florestal (ROSA, 1981). Em 1947, foram introduzidas dos Estados Unidos as primeiras sementes de *Pinus elliottii* e no ano seguinte iniciou-se um plano de estímulo ao reflorestamento, com a distribuição de mudas de *P. radiata*, espécie de clima temperado, demonstrando em poucos anos sua incapacidade de se desenvolver nas condições ambientais brasileiras. Posteriormente foi intensificada a introdução de outras espécies como *P. taeda*, *P. caribaea*, *P. oocarpa* e *P. kesiya* (GOLFARI, 1978).

Em seguida, as áreas plantadas com espécies florestais foram ampliadas por empresas particulares de reflorestamento, objetivando atender finalidades industriais, como por exemplo, produção de madeira para serraria, mourões, postes, energia, celulose, aglomerados, laminados e extração de óleos e resinas, tanto para suprir as necessidades internas como para exportação.

Atualmente o melhoramento das espécies tem-se voltado, principalmente, para produção volumétrica, árvores com fustes mais retos, menor número de bifurcações, menor número de galhos grossos, celulose de fibra longa, visando papel de boa qualidade, maior volume de madeira serrada e extração de resina em maior volume (RESENDE; HIGA, 1994).

Os pinus tropicais são originários da América Central e se adaptaram bem às condições de solo e clima brasileiros. Possuem crescimento rápido em comparação com *Pinus taeda* e *P. elliotti*, que são provenientes de climas mais frios. Plantios recentes demonstram este rápido crescimento das espécies tropicais, sendo que árvores com aproximadamente dois anos apresentam alturas superiores a 3 metros.

De acordo com estudos realizados por Chaves (2002), o amarelecimento das acículas seguido de morte precoce de *Pinus caribaea* Morelet das variedades *caribaea* e *hondurensis* plantadas entre 1977-82 está relacionado a deficiências nutricionais, principalmente em Ca, Mg e Mn.

Segundo Chaves (2002) como não foi assegurada a qualidade genética das sementes utilizadas na formação das mudas que deram origem aos maciços florestais em estudo, há que se considerar a presença de genótipos diferentes num mesmo talhão. Estas diferenças se baseiam em mecanismos fisiológicos e bioquímicos, como por exemplo, a intensidade de perda de material fotossintético nas acículas ou raízes, e taxa de respiração (FAGERIA, 1989).

Postula-se que a senescência precoce de plantas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tenha relação com a obstrução de traqueídeos em tecidos da parte aérea e ou de raízes, ocasionada por compostos sílico-aluminosos. Assim, o objetivo desse trabalho foi estudar possíveis associações sílico-aluminosas em traqueídeos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em plantas sadias e em plantas apresentando diferentes estágios de senescência, ocasionando a morte precoce de pinheiros, em áreas do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do *Pinus*

A floresta tropical é um dos ambientes naturais mais complexos da Terra, sendo sua composição e estrutura determinadas, principalmente, pelo clima, solo, estado sucessional da vegetação e a história natural de cada sítio (HUSTON, 1980; JORDAN; HERRERA, 1981; LAMPRECHT, 1986; WHITMORE, 1990; MEGGER et al., 1994). A proporção da importância de cada fator torna-se difícil de ser avaliada porque é, praticamente, impossível isolar os demais fatores presentes na intrincada malha de interações entre árvores e ambiente (LIMA et al., 2003).

As espécies do gênero *Pinus* têm sido usadas amplamente em programas de reflorestamento e dentre esses os *Pinus* tropicais tem sido usado no Brasil, notadamente nas regiões mais quentes (MACHADO et al., 2004).

Segundo Moro (2005) os plantios ocorrem preferencialmente em regiões com menores preços de terras e, por isso, muitas vezes são localizados em áreas com solos de baixa fertilidade natural e, conseqüentemente, baixa produtividade. Essa condição, associada ao fato da não fertilização dos plantios de *Pinus*, via de regra, e a exportação de nutrientes nos desbastes e colheita final leva, invariavelmente, a perdas de produtividades futuras dos povoamentos. Diante dessa realidade, algumas pesquisas com manejo, nutrição, melhoramento genético e tecnológico passaram a assumir importância fundamental para o aumento do potencial produtivo e sustentabilidade florestal.

Com a valorização da madeira de *Pinus* e a crescente necessidade de expansão da área plantada para atender a demanda futura, algumas questões que estavam relegadas em segundo plano, tais como o manejo das florestas, melhoramento genético e tecnológico, passaram a receber investimentos quase que espontaneamente, com intuito de aumentar o potencial produtivo e a sustentabilidade das florestas de *Pinus*. As técnicas de manejo como espaçamentos, idade de desbastes, fertilizações e melhoramento genético, são pré-requisitos indispensáveis e que podem contribuir de forma decisiva na questão de atender a demanda futura do mercado. As extensas áreas plantadas evidentemente ocorreram numa variação muito grande de classes de solos, como descritos por Reissmann e Wisniewski (2000), e clima. Como conseqüência,

observa-se acentuada diferença de produtividade em função do tipo de solo em que está estabelecido o plantio, como relatado por Carvalho et al. (1999), entre outros autores.

Essa condição, combinada ao fato da não fertilização dos plantios de *Pinus*, de modo geral, e da exportação de nutrientes do sítio pela retirada da madeira (lenho e casca), nos desbastes e colheita final, leva à perda de produtividade dos sítios florestais e, conseqüentemente, das florestas plantadas nestas mesmas áreas.

2.2 Características anatômicas

A análise anatômica de acículas de *Pinus* tem sido utilizada em pesquisas dirigidas, principalmente, para estudos taxonômicos. Além dos trabalhos clássicos (MARTINEZ, 1948; LANYON, 1966; KOCH, 1972) com descrição anatômica de diversas espécies, cabe destacar, ainda, os estudos desenvolvidos para aspectos de taxonomia e variação genética em espécies, ou com populações nativas e implantadas (KRIEBEL; FOWLER, 1945; MERGEN, 1959; WHITE; BEALS, 1963; DORMAN, 1976; MEYER; MEOLA, 1978; SNYDER; HAMAKER, 1978; STYLES et al., 1982; VELAZQUEZ; VALERA, 1982; SALAZAR, 1983). As alterações anatômicas na estrutura normal das acículas, decorrentes da ação de agentes poluentes (SOLBERG; ADAMS, 1956; LINZON, 1967; EVANS; MILLER, 1972 a,b; MAIELLO et al., 1972, STEWART *et al.*, 1980; CARLSON; GILLIGAN, 1983; RAITIO, 1983) e de agentes patogênicos (HOFF; MCDONALD, 1975; SOIKELLI, 1983), também tem sido estudadas através de técnicas histológicas.

Os pinheiros são árvores pertencentes à divisão Pinophyta, tradicionalmente incluída no grupo das gimnospérmicas. São nativos na maioria do Hemisfério Norte; na América do Norte, variam do sul Ártico à Nicarágua e Hispaniola, com diversidade mais alta no México e na Califórnia. Na Eurásia, eles ocorrem desde Portugal e leste da Escócia até o extremo oriental da Rússia, Japão, Filipinas, Himalaia, Sudeste da Ásia e norte da África. Os pinheiros são também plantados extensivamente em muitas partes do Hemisfério Sul. A espécie *Pinus caribaea* é uma espécie de pinheiro originária do Novo Mundo, faz parte do grupo de espécies de pinheiros com área de distribuição na América Central, Caribe, México, sul do Arizona e Novo México (FARJON, 1984).

De acordo com Suassuna (1977) os pinheiros, considerados plantas perenes, também produzem resinas. A casca de sua maioria é grossa e escamosa, mas em algumas espécies é apenas escamosa. Os brotos são produzidos em verticilos regulares,

que de fato formam uma espiral muito apertada, aparentando um anel de brotos que surgem do mesmo ponto. Muitos pinheiros são uninodais, produzindo apenas um verticilo de brotos por ano - no início da época de floração, mas outros, classificados como multinodais, produzindo dois ou mais verticilos de ramos por ano. Na primavera, os brotos denominam-se "velas" porque de cor mais clara, apontam para cima e depois escurecem e arrepiam. Tais "velas" servem para avaliar a fertilidade do solo, ou o vigor das árvores.

Os pinheiros têm quatro tipos de acículas. As mudanças começam com (1) um verticilo de 4-20 folhas de sementes (cotilédones), seguida imediatamente de (2) folhas juvenis em plantas jovens, com 2-6 cm de comprimento, simples, verdes ou verde azuladas, arranjadas em espiral no broto, os quais são substituídos, depois de seis meses a cinco anos, por (3) folhas protetoras, similares a escamas, pequenas, pardas e não-fotosintéticas, arranjadas como as folhas juvenis; e (4) as folhas adultas ou acículas, verdes fotossintéticas, dispostas em grupos (fascículos) de (1-6) acículas, cada fascículo é produzido a partir de um pequeno rebento de um ramo lateral no eixo de uma folha protetora. Estes rebentos permanecem muitas vezes nos fascículos como proteção básica. As acículas persistem durante 1,5-40 anos, dependendo da espécie. Se um broto ficar danificado (comido por um animal, por exemplo), os fascículos de acículas imediatamente abaixo do danificado irão gerar um rebento que poderá então substituir o anterior (RICHARDSON, 1998).

Os pinheiros são monóicos, ocorrendo cones masculinos e femininos na mesma árvore. Os cones masculinos são pequenos, com 1 a 5 cm de comprimento, e apenas presentes num curto período (usualmente na primavera ou no outono para outros poucos pinheiros), quando seu pólen se dispersa. Os cones femininos levam de 1,5 a 3 anos (dependendo da espécie) para amadurecer e, depois da polinização, a fertilização pode demorar mais um ano. Na sua maturidade, os cones femininos têm de 3 a 60 cm de comprimento. Cada cone tem numerosas folhas protetoras arranjadas em espiral, contendo cada uma duas sementes férteis. As folhas protetoras mais próximas à base do cone são pequenas e estéreis, sem sementes. A maioria das sementes é pequena e alada para ser dispersada pelo vento, mas algumas são maiores e possuem apenas uma asa vestigial, sendo então dispersadas pelos pássaros. A maturidade do cone é usualmente alcançada quando ele se abre liberando as sementes, mas nas espécies disseminadas por pássaros, será necessário que este quebre o receptáculo do cone para abri-lo. Em outras, que dependem de incêndios florestais, uma grande quantidade de cones depositada ao

longo dos anos é aberta pelo fogo no mesmo incêndio que destrói a árvore-mãe, e assim repovoa a floresta (FARJON, 1984).

2.3 Características gerais da silvicultura

A fase de ocupação de espaço agrícola no Brasil, não levou em consideração os preceitos agronômicos, quer no uso agropecuário quer, numa escala muito maior, no uso indiscriminado da cobertura florestal (THIBAU, 2000). O estágio de maturação de grandes áreas reflorestadas, o aumento da capacidade produtiva das indústrias madeireiras, com a conseqüente repercussão no volume dos trabalhos de campo, a crescente escassez e sazonalidade da mão-de-obra, em determinadas regiões, e a expressiva representação dos custos operacionais da colheita no custo final da matéria-prima madeireira podem ser apontados como fatores importantes que irão, a médio e longo prazo, determinar profundas alterações nos procedimentos da atividade (SIMÕES et al., 1981).

De acordo com Machado et al. (2004), a precisão da avaliação quantitativa de estoques florestais apresenta-se de fundamental importância no sentido de direcionar a matéria-prima para diferentes usos. A partir de dados provenientes de inventários mostra-se possível definir um plano de manejo visando à utilização de multiprodutos da floresta, bem como obter os volumes comerciais e ainda os volumes de partes específicas do fuste. A estimativa desses volumes é dificultada principalmente pela variação da forma do perfil do fuste.

O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece o ponto de partida para a avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais (MACHADO et al., 2004).

Segundo Kageyama (1987) os ecossistemas florestais tropicais estão sendo perturbados e eliminados definitivamente nesses últimos 30 anos, contrastando com o avanço muito pequeno nos estudos desses ecossistemas, do ponto de vista ecológico e genético-evolucionário. Esses estudos nas florestas tropicais e subtropicais têm se concentrado em um pequeno número de espécies que atualmente tem grande importância econômica na formação de plantações.

Com o desenvolvimento do mercado, estabilidade da economia e implantação de um parque industrial moderno e competitivo, o consumo de madeira de *Pinus* nos

últimos anos tem crescido de forma até preocupante, uma vez que a implantação das florestas não ocorreu na mesma ordem da colheita, fato que ocasionou, e poderá se agravar ainda mais, um descompasso em abastecimento de madeira oriunda desse gênero. Mantendo-se a demanda atual, o déficit de madeira de *Pinus* será acentuado entre 2007 e 2016, alcançando um pico máximo por volta de 2011 com déficit estimado em 12 milhões de metros cúbicos com casca (VALOR FLORESTAL, 2004).

A situação geral do fornecimento de madeira para lenha nos países em desenvolvimento é descrita por Kageyama (1987). Este autor demonstra haver uma escassez com forte tendência ao agravamento em função do aumento populacional e da diminuição rápida dos recursos arbóreos.

O aproveitamento de uma árvore deve ser feito de maneira que o retorno financeiro seja grande. Assim, quando uma mesma árvore tem diversos usos finais, o seu valor agregado é maior, pois alcança preços diferentes no mercado (MACHADO et al., 2004).

Segundo Richardson (1998) o pinheiro é a espécie comercialmente mais importante para a produção de madeira nas regiões temperadas e tropicais do planeta. Muitos deles são utilizados como matéria-prima para a produção da polpa de celulose, empregada na produção de papel. Isso porque o pinheiro é uma madeira leve, que possui um rápido crescimento. Além disso, ele também pode ser plantado com uma grande densidade populacional e a queda de suas folhas (acículas) produz um efeito alelopático em plantas de outras espécies, ou seja, as folhas inibem o crescimento de outras plantas (denominadas de plantas daninhas nas florestas plantadas), provocando uma redução na competição por água, luz e nutrientes nas florestas de pinheiros.

A resina de algumas espécies apresenta-se como importante fonte de breu, do qual se extrai terebentina e outros óleos essenciais. Algumas espécies têm sementes comestíveis que se pode cozinhar ou assar; outras são usadas como árvores de natal e suas pinhas e ramos largamente utilizados em decorações natalícias. Muitos pinheiros são também usados como plantas ornamentais em parques e jardins. Uma grande quantidade de espécies anãs é cultivada para plantio em jardins residenciais (MIROV, 1967).

Os pinhais plantados sempre sofrem acentuado risco de incêndio por causa da camada de acículas secas que se acumula no solo e porque a árvore possui grande quantidade de resina, a ponto de seu material ser explosivo em determinadas condições (RICHARDSON, 1998).

Os pinheiros se desenvolvem bem em solo ácido e alguns também em solo calcáreo. A grande maioria requer um solo bem drenado, ou seja, prefere solos mais arenosos, mas uns poucos, como por exemplo o *Pinus contorta* mostram-se tolerantes à reduzida drenagem e a encharcamento do solo. Alguns estão aptos a rebrotarem após incêndios florestais, como por exemplo o *Pinus canariensis*, e outros ainda, como por exemplo *Pinus muricata*, necessitam do fogo para regenerar suas populações, que declinam vagarosamente em regime de supressão de incêndios (MIROV, 1967).

2.3.1 Silvicultura no Brasil

Segundo Ferreira e Santos (1997) as primeiras pesquisas brasileiras na área da silvicultura tiveram início no princípio do século XX, onde o principal objetivo foi a produção de madeira para atender o consumo existente, devido ao grande processo de devastação das florestas nativas e a impossibilidade de reposição com espécies endêmicas. O melhoramento genético de espécies florestais é relativamente recente nova, na qual a partir de 1950, foram desenvolvidos os maiores experimentos com as espécies florestais (MISSIO et al., 2007).

O setor florestal brasileiro teve seu grande impulso a partir das décadas de sessenta e setenta, mediante a promulgação da lei dos incentivos fiscais que propiciou a expansão dos plantios com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (MORO, 2005).

Segundo Mirov (1967) no Brasil também são chamados pinheiros espécies que na verdade não fazem parte da família Pinaceae, como a Araucária (*Araucaria angustifolia*), mais conhecida como pinheiro brasileiro. Este pertence à família Araucariaceae, que é pequena e nativa apenas do Hemisfério Sul. Abrange dois gêneros somente: o *Agathis* (natural da Austrália), e o *Araucaria* (que aparece no Chile, Argentina e sul-sudeste do Brasil, em regiões de altitude elevada, ou seja, acima de 500 m).

O Brasil possui 1,8 milhões de hectares de áreas plantadas com *Pinus*. O estado do Paraná possui a maior porção dessa área (32%), somando mais de 600 mil hectares do gênero (SBS, 2007). Dessa porção, o setor industrial de celulose e papel possui uma fatia de aproximadamente 200 mil hectares de área reflorestada com *Pinus* (BRACELPA, 2007).

Segundo a ABPM (2007), nos últimos 10 anos, a produção mundial de papel cresceu 35%, sendo que o Brasil somou 8,2 milhões de toneladas de papel em 2004 e

ocupou a posição de sétimo maior fabricante mundial de celulose, com cerca de 9,4 milhões de toneladas. No entanto, o estoque de área reflorestada vem caindo desde 1995. Esse cenário preocupa os formuladores de política econômica, pois é prevista para a primeira metade do século XXI uma escassez de madeira de reflorestamento (BACHA; BARROS, 2004). Os solos e as condições climáticas no Brasil (luz e umidade) são altamente favoráveis para a formação de florestas de *Pinus*, as quais apresentam uma produtividade ($m^3/ha/ano$) entre 5 e 6 vezes maior que aquela obtida na Escandinávia, Rússia, Canadá e outras regiões tradicionalmente produtoras de madeiras de coníferas (ABPM, 1991).

As empresas de papel e celulose realizam, principalmente, plantios homogêneos de eucaliptos e pinus, com curto período de rotação, visando produção de cavacos a serem utilizados na produção de pastas (ou polpas de madeira). As espécies mais plantadas de eucalipto são os *Eucalyptus* spp. híbridos, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, enquanto as espécies mais plantadas de pinus são o *Pinus taeda*, *Pinus caribaea* e o *Pinus elliottii*. Em média, no período de 1991 a 2001, 82,3% dos plantios feitos por empresas de papel e celulose foram com espécies de eucalipto e 17,5% com espécies de Pinus (BRACELPA, 2002).

Tentar associar a devastação das florestas ao consumo de madeira no Brasil é um raciocínio muito simplista que não explica os níveis de devastação atingidos. Realmente, se observa um processo desordenado de ocupação e utilização dos solos para fins agro-pastoris. A sobrevivência, a preservação e a conservação dos nossos ecossistemas irá depender prioritariamente das soluções políticas e educacionais (FERREIRA, 1989).

2.3.2 Áreas de cerrado no oeste de Minas Gerais

O bioma Cerrado situa-se como área contínua na região central do território brasileiro, do qual cobre aproximadamente 22%. O clima é sazonal, com um período seco e frio e um outro quente e úmido. Na região predominam os solos da classe Latossolos, os quais apresentam-se em geral, em avançado processo de dessilicificação, com baixos teores de nutrientes trocáveis e matéria orgânica, elevada acidez, esta provavelmente devido, em boa parte, aos altos teores de Al^{3+} , o que torna o alumínio tóxico à maioria das plantas cultivadas. Contudo, é grande a diversidade vegetal, com algumas espécies apresentando características adaptativas a determinadas condições

específicas, tais como a expressão de caráter alumino - acumulador, calcícolo, calcífogo e sílico-acumulador (VILARINHO, 2002).

2.4 Aspectos nutricionais do *Pinus*

A grande maioria das áreas de florestamento ocupadas por eucaliptos e pinus estão sobre solos muito intemperizados e lixiviados, portanto, com baixa disponibilidade de nutrientes. Como fator complicante, o atendimento da demanda nutricional das árvores é bastante prejudicado pelos altos índices de deficiência hídrica que ocorrem na maior parte das áreas, como aquelas implantadas na região dos cerrados, onde estão os maiores blocos de florestamentos com eucaliptos e pinus (GONÇALVES, 1995).

A ordem dos nutrientes mais acumulados é bastante distinta entre os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, para o *Pinus*, $N > K > Ca > Mg > P$. Diante dessas colocações, o descascamento da madeira no campo resulta em grande economia de nutrientes para o estoque da área, com elevada repercussão sobre seu potencial produtivo (CASTRO et al., 1980).

No sentido de estimar a exportação de nutrientes nos reflorestamentos de um modo geral, La Torraca *et al.*, (1984) demonstraram que a escala de retiradas totais de macronutrientes no *Pinus elliottii* obedece a seguinte ordem: $N > K > Mg > Ca = S > P$ e a de micronutrientes: $Mn > Fe > Zn > B > Cu$. Normalmente, para solos mais arenosos e deficientes no fornecimento de água, observa-se, mais frequentemente, maiores respostas à adubação.

Contudo, Gonçalves (1995) afirmou que, graças às baixas exigências de fertilidade do solo e também ao programa de melhoramento genético conduzido no Brasil, em que se procura adaptar as espécies às condições edafoclimáticas da região, as florestas de eucaliptos e pinus têm se mostrado produtivas, mesmo com recomendações de adubação bem aquém daquelas utilizadas para as culturas agrícolas.

Gonçalves (1995) descreve os principais sintomas de deficiência nutricional em pinus da seguinte maneira:

A) Sintomas mais acentuados nos tecidos mais velhos (parte inferior das copas e base dos galhos):

- Nitrogênio - clorose uniforme das acículas, com tons amarelados; senescência precoce das acículas, com sua subsequente queda; acículas menores e redução de crescimento e produção de sementes;
- Fósforo - acículas de coloração verde-escuro, com crescimento bastante reduzido tanto no comprimento como na espessura; atraso do florescimento e queda na produção;
- Potássio - acículas cloróticas, com graus mais acentuados nas pontas e, com o passar do tempo evolui para necrose da ponta para a base das acículas;
- Magnésio - clorose na metade das acículas, que ficam com coloração amarelo-ouro.

B) Sintomas nos tecidos mais jovens (terço superior das copas e pontas dos galhos):

- Enxofre - clorose uniforme das acículas, as quais adquirem tons verde-limão;
- Cálcio - morte dos brotos terminais; acículas retorcidas e com clorose na base;
- Boro - Acículas pequenas, com clorose irregular ou sem clorose; acículas mais grossas e quebradiças; às vezes ocorre fusão de acículas; morte dos brotos terminais com superbrotamento de ramos, que tomam forma de leque; internódios mais curtos; má polinização e atraso no florescimento;
- Zinco - acículas pequenas, com clorose irregular e não muito intensa; internódios mais curtos; drástica redução da produção de sementes e frutos com pequeno desenvolvimento;
- Ferro - acículas com menor crescimento e cloróticas, geralmente, seguido de branqueamento e redução da frutificação.

Poucos são os trabalhos relacionados à carência de cobre (Cu) e Boro (B) em *Pinus caribaea* Morelet, embora problemas dessa ordem tenham aumentado no Brasil à medida em que aumentam as áreas reflorestadas. A maior parte das informações encontradas foram obtidas em outros países, e para *Pinus radiata* D. Don (HAAG et al., 1997).

Snowdon (1982), em suas revisões sobre a ocorrência de deficiência de B em espécies florestais, citando seus trabalhos anteriores, de 1971 a 1973, observou que ela é notável em *Pinus* sp., ocorrendo com frequência na Tanzânia, Zâmbia, Malásia, Nova Guiné, Nova Zelândia, Brasil e Chile.

No Brasil, Goor (1966) avaliou as relações entre crescimento local e nutrição em plantios experimentais de *P. caribaea* Morelet var. *hondurensis*, *P. elliotii*, *P. kesiya* e *P. patula*, observando teores aciculares menores que 10 ppm de B em diversos locais, por vezes acompanhados de sintomas de deficiência. Amostras de árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* com sintomas de deficiência apresentaram teores de 6,2 ppm na matéria seca de acículas completamente desenvolvidas, com um ano, situadas no ápice da árvore. Plantas situadas em regiões de precipitação uniformemente distribuída não apresentaram sintomas, mesmo com teores de 9,4 ppm na matéria seca. Stone e Will (1965) observaram grande variação entre as diversas amostras tomadas, o que se deve à imobilidade do B no tecido, que, uma vez acumulado em determinada região, não se desloca para suprir as exigências de crescimento se o suprimento externo for limitado num dado momento.

2.5 Relação Si/Al na planta

As plantas absorvem o silício (Si) da solução do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) de acordo com Tisdale et al., (1993). O óxido de silício (SiO_2) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais; entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala ($SiO_2 \cdot nH_2O$) e outras formas não-disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

O acúmulo e a polimerização de Si na célula epidérmica, logo abaixo da cutícula, forma uma barreira mecânica denominada “dupla camada silício-cutícula”, ajudando a manter as folhas mais eretas, diminuindo a transpiração e protegendo as plantas contra o ataque de insetos-praga e fungos (YOSHIDA et al., 1962 citado por

SAVANT et al., 1997). Além disso, pode reduzir o acamamento, dar maior rigidez estrutural aos tecidos, dificultando a penetração do aparelho bucal do inseto, e proteger a planta contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Fe, Mn, Al e Na (EPSTEIN, 1994).

O Si é transportado via xilema e sua redistribuição na planta ocorre na forma de H_4SiO_4 , porém esta é reduzida. O Si concentra-se na maioria das plantas no sistema radicular, mas há algumas exceções como no arroz, em que até 90% do Si encontra-se nas folhas (GRASSI FILHO, 2000).

O problema da deposição de sílica nas plantas vasculares vem sendo cada vez mais estudado, mas na verdade há muito que se desvendar ainda. Embora esteja sempre presente no solo, algumas espécies praticamente não a absorvem e outras a acumulam. Quando absorvido, temporariamente deposita-se nos tecidos como sílica coloidal no estado gel, depois torna-se opala (SILVA, 1983).

Segundo Grassi Filho (2000) o alumínio (Al) representa um dos mais importantes constituintes do solo, sendo o principal responsável pela acidez dos solos tropicais. Em geral, o conteúdo de Al é muito maior nas raízes do que em outras partes das plantas, onde é fixado nos espaços livres. Não há evidências de que o Al seja um elemento essencial às plantas, entretanto, existem muitos relatos de que o Al em baixas concentrações promove um incremento no desenvolvimento de beterraba açucareira, milho e algumas leguminosas tropicais.

A forma de Al absorvida pela planta é o Al^{+3} , podendo também ser absorvido em outras espécies iônicas presentes na solução do solo, mas essas causam pouco ou nenhum dano às plantas (GRASSI FILHO, 2000).

Os efeitos fitotóxicos, citados por Grassi Filho (2000), são observados principalmente nas raízes das plantas, sendo o local de maior acúmulo, servindo como uma barreira que impede a subida do Al até sua parte aérea. O Al na forma neutra é o presente na parte aérea da planta.

A distribuição do Al e do Si varia com a espécie, mas o Al é depositado de maneira invariável com o Si. Este pode ser um mecanismo de seqüestro do Al tóxico e, assim, representar uma defesa contra a toxidez do Al (HODSON; SANGSTER, 1999).

Nos cereais, de acordo com Hodson e Sangster (1999), muito pouco Al é transportado para as brotações, sendo observada uma atenuação do Al tóxico pelo Si, resultado de uma interação Si-Al que ocorre no apoplasto das raízes dessas plantas.

2.6 Amarelecimento das acículas de *Pinus caribaea* Morelet

O problema da morte precoce de pinheiros tropicais tem chamado atenção de setores empresariais e da pesquisa na região oeste de Minas Gerais, segundo Chaves e Corrêa (2003). O sintoma nos pinheiros consiste no amarelecimento das acículas, que ocorre da ponta para a base destas, evoluindo para um tom pardo-avermelhado. Associado a tal quadro, verificam-se exsudados de resina no vértice das acículas. Esses sintomas são mais severos na parte superior da copa. O amarelecimento se intensifica na planta, levando à queda das acículas, morte e posterior queda do pinheiro.

Nota-se que a intensidade do problema varia com as condições edáficas, havendo certa relação entre as condições de drenagem do solo e a ocorrência dos sintomas de senescência de plantas, conforme relatam Chaves e Corrêa (2003). A ocorrência dessas sintomatologias não se dá em reboleiras, mas sim distribuída de forma aparentemente aleatória nos talhões, tanto em árvores dominadas como em dominantes (CHAVES; CORRÊA, 2005).

2.6.1 Problemas fitopatológicos

Várias doenças dos pinheiros incluem, no quadro sintomatológico, padrão de amarelecimento de acículas. Entretanto, quando se trata da espécie *Pinus caribaea* na região do Brasil Central, a principal doença até então descrita como causadora de amarelecimento nas acículas é a “mancha de acículas” (KIMATI et al., 1997). De acordo com Chaves (2002) a presença não generalizada de um padrão diferenciado de cores mostra, através de análise fitopatológica das acículas, tratar-se da presença de fungos da ordem Rhytismatales (*Davisomucella* sp. e *Lophodermium* sp.).

Segundo Kimati et al., (1997), os fungos *Davisomucella* e *Lophodermium* podem atuar como patógenos ou como saprófitas em acículas mortas ou em senescência, sendo que os danos causados são bastante restritos nas condições do Triângulo Mineiro, nunca chegando a causar morte de árvores. Indivíduos afetados, que podem apresentar desfolha significativa, recuperam-se com relativa facilidade, não se empregando até então, o controle desta doença no campo.

Chaves (2002) afirma, sobre a ocorrência de fungos dessa ordem, que deve-se considerar que as áreas estudadas (Grupo Satipel e Pinusplan Reforestamento Ltda)

compreendem o topo da paisagem regional (chapadões). Isto se traduz no fato destes chapadões apresentarem um microclima regionalmente caracterizado por possuir temperaturas mais amenas e umidade mais elevada. Este quadro deve representar um fator agravante da intensidade de ataque dos fungos em questão, o que poderá representar um problema futuro.

2.6.2 Problemas nutricionais

Um fator que colabora para a não utilização de práticas de adubação em Pinus é a carência de experimentos que comprovem a viabilidade econômica destas (CHAVES, 2002). Segundo Haag (1983), a maioria dos trabalhos de pesquisas de emprego de fertilizantes em reflorestamento no Brasil restringem-se, de um modo geral, a analisar os efeitos da fertilização sobre os incrementos em volume de madeira, deixando de considerar os aspectos econômicos.

Segundo Veiga et al., (1997) os gastos obtidos pelo emprego da calagem nos solos florestais são altamente compensadores. Esse mesmo autor cita o trabalho que mostra o efeito de uma calagem de 4,5 toneladas por hectare, a qual teria provocado, ao longo de quatro anos, diminuição da serrapilheira, praticamente não decomposta, em 1/3 de sua espessura primitiva.

Os sintomas visuais de amarelecimento das acículas, culminando num acentuado processo de senescência e morte de pinheiros, juntamente com os resultados analíticos do solo e do material vegetal, revelam um quadro complexo de deficiências, envolvendo principalmente os elementos Ca, Mg e Mn (CHAVES, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas amostradas

As áreas amostradas compreenderam talhões de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em idade comercial. Foram utilizados dois locais de amostragem: áreas I e II.

Área I - pertencente à empresa Satipel Industrial S.A., compreendendo áreas da região do Alto Paranaíba, oeste de Minas Gerais, situadas nos municípios de Romaria, Monte Carmelo, Estrela do Sul e Indianópolis. O talhão amostrado apresentava espaçamento de 2,80 por 2,5 metros, e encontrava-se em fase de corte raso. O plantio foi realizado em março de 1977, tendo recebido adubação de 10 gramas de superfosfato simples por cova.

Área II - localizada também no oeste de Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, mais precisamente no município de Uberlândia, pertence à empresa Pinusplan Reflorestamento Ltda. Neste, o espaçamento é de 2,80 por 2,0 metros e o plantio foi realizado em janeiro de 1978, tendo também recebido adubação de 10 gramas de superfosfato simples por cova.

As áreas I e II situam-se, respectivamente, em torno de 970 m e de 900 m de altitude e, segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwb na primeira e Cwa na segunda (Embrapa, 1982). Estes tipos climáticos apresentam verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C. Os dois tipos climáticos se diferem apenas por apresentar a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C no Cwa e inferior a este valor no Cwb. A região que abrange as duas áreas de amostragem situa-se entre as latitudes 18 e 19° S e longitudes 47 e 49° W (MIRANDA, 2005).

3.2 Material botânico

Primeiramente, foi percorrido todo o talhão para a seleção dos pinheiros a tombar, contemplando plantas com aparência normal (com acículas de coloração verde intenso) até aquelas com visível processo de senescência em graus variados, desde poucas acículas amarelas até ausência de acículas (plantas mortas) (Figura 1 e 2).



FIGURA 1. Talhão de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* mostrando o critério utilizado na escolha das árvores a serem amostradas. Plantas de *Pinus caribaea* nos estágios 1, e 2 (a) e nos estágios 3, 4 e 5 (b) revelando as diferentes classes de coloração da copa..

Posteriormente, foram identificados todos os pinheiros escolhidos para o estudo. Foram atribuídos estágios para as plantas amostradas (Tabela 1).

TABELA 1. Estágios e descrição das respectivas características das plantas.

Estágios	Característica da planta
1	aparentemente normal, com acículas de coloração verde intenso
2	acículas de coloração verde-amarela
3	acículas de coloração amarela
4	acículas amarelas e acentuada perda destas
5	morta

Na área I foram coletados seis ponteiros (extremidade da copa) para cada um dos estágios pré-definidos. Por sua vez, na área II coletaram-se seis raízes para cada estágio, conforme definido na Tabela 1, perfazendo um total de sessenta plantas amostradas, nas duas áreas. Contando com auxílio de moto-serra (Figura 2), As árvores foram cortadas com emprego de moto-serra, enquanto as raízes foram expostas com auxílio de um enxadão, selecionadas e cortadas com uso de um facão, (Figura 3). Todo

material botânico coletado foi armazenado em sacos plásticos etiquetados e acondicionado em câmara fria (12-15°C).



FIGURA 2. Amostragem da parte aérea: depois de tombada a árvore selecionada (a), coletou-se o ponteiro terminal do fuste (b).



FIGURA 3. Procedimento de exposição de raízes para coleta.

Posteriormente, os trinta ponteiros e as trinta raízes coletados foram cortados em pequenos discos com 5-8 milímetros de altura cada, novamente acondicionados em recipientes hermeticamente isolados para posteriores análises (Figura 4).

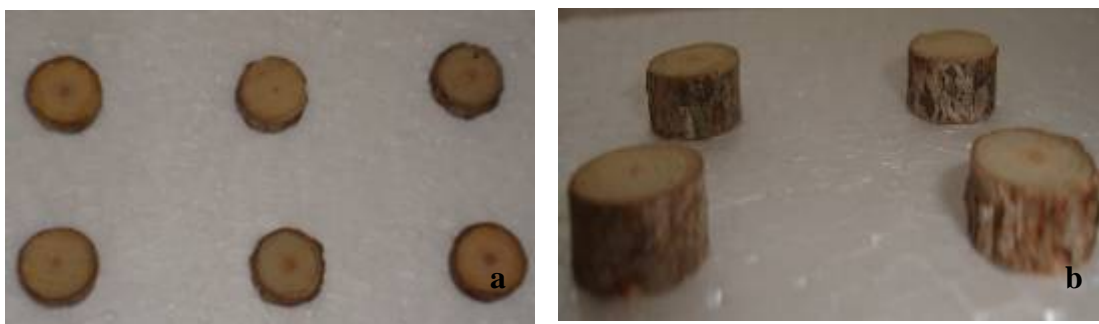


FIGURA 4. Aspecto dos discos de raízes (a) e ponteiros (b) de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, os quais constituíram as amostras para análise ao MEV.

3.3 Análises laboratoriais

Num primeiro momento, houve a secagem ao ponto crítico de treze amostras escolhidas ao acaso, etapa também conhecida como fase de desidratação. Os discos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram embebidos em acetona 100%. Após esse passo, iniciou-se a secagem ao ponto crítico, através da injeção de mistura do gás carbônico líquido com a acetona, em aparelho marca Bal-Tec, modelo CPD 030, realizadas em laboratório d Instituto de Ciências Biomédicas da UFU. Posteriormente, as amostras secas submetidas ao CPD (Critical Point Drier) foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados.

Após esta etapa inicial, as treze amostras foram analisadas mediante a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), em laboratório da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU.

3.3.1 Microanálises dos elementos químicos

3.3.1.1 Preparo das amostras para análise ao MEV

Primeiramente, as amostras foram fixadas em suporte e metalizadas com uma fina camada de ouro (Au), em equipamento marca Emitech K 550. O detector de elétrons para raios-X permite a obtenção de informações estruturais e químicas de materiais, possibilitando a identificação de qualquer elemento químico cujo número atômico seja maior que cinco.

Posteriormente, foi realizada a visualização das amostras no MEV (microscópio eletrônico de varredura), marca Zeiss, modelo LEO 940 A. O assoalho da câmara pulpar de cada espécime foi dividido em quadrantes e cada quadrante foi analisado quanto à presença de elementos químicos. As imagens resultantes foram salvas em cd-rom.

3.3.1.2 Observações ao microscópio

Foram visualizadas estruturas do xilema e do floema, parte aérea (ponteiros) e parte radicular (raízes com diâmetro em torno de 1 cm). Foram adotados os seguintes termos:

- parede: borda dos traqueídeos (figura 5b).
- nódulo: estrutura de aspecto nodular no interior de traqueídeos (figura 5c).

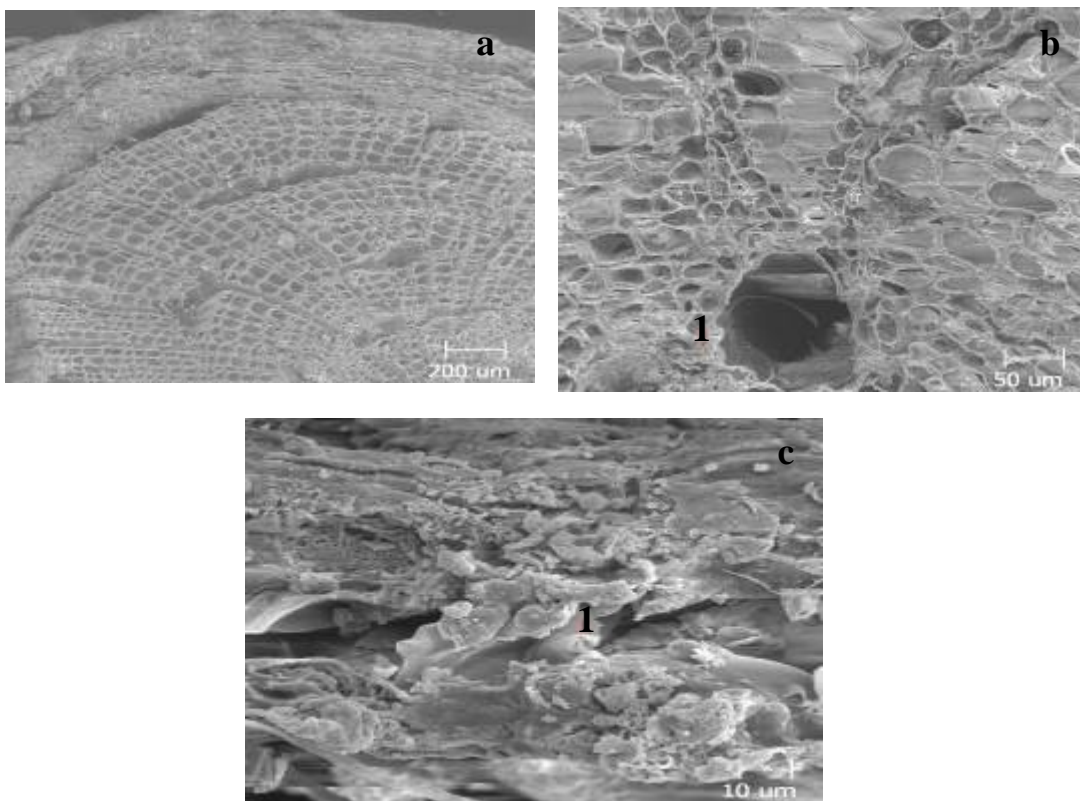


FIGURA 5. Micrografias de tecidos do ponteiro da copa de uma planta sadia (estágio 1), apresentando uma vista geral das estruturas em seção transversal (a) e, em detalhe, ponto analisado (parede de estrutura condutora) (b) e estrutura de aspecto nodular (c).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento analítico ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) teve início em amostras da parte aérea de plantas normais (estágio 1). Nestas observou-se que tanto o Al como o Si ocorrem em quantidades variáveis, principalmente no floema (tabelas 2 e 3), porém apresentando uma relação Al/Si em torno de 2,6. Há, portanto, em todos os tecidos analisados, menor teor de Si em relação ao Al. Nota-se (tabela 2) que no xilema da parte aérea os teores de Si e Al são maiores do que no floema para plantas no estágio 1. Também se pode observar que nas estruturas que foram denominadas de nódulos, encontradas no floema, os teores de Si e Al foram maiores do que aqueles encontrados na parede desta estrutura condutora (floema).

TABELA 2. Teores de Al, Si e relação Al/Si no material de plantas normais, em senescência e mortas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas duas áreas amostradas.

TECIDOS CONDUTORES	ESTÁGIOS	Al	Si	Relação Al/Si
1. ponteiros				
Xilema (parede)	1	12,83	5,52	2,32
Floema (nódulo)	1	5,65	1,97	2,87
Floema (parede)	1	3,56	1,36	2,62
2. raízes				
Xilema (parede)	4	12,22	4,59	2,66
Floema (nódulo)	2	11,20	3,81	2,94
Floema (nódulo)	3	6,38	2,31	2,77
Floema (parede)	4	3,89	1,08	3,59
Floema (parede)	5	6,99	2,39	2,93
Floema (nódulo)	5	21,44	9,82	2,18

1 planta aparentemente sadia (normal), com acículas de coloração verde intenso

2 planta com acículas de coloração verde-amarela

3 planta com acículas de coloração amarela

4 planta com acículas amarelas e acentuada perda destas

5 planta morta

Nota-se, neste estudo, que quando o teor de Si é maior, o de Al o acompanha particularmente no sistema radicular (tabela 2). A respeito desses dois elementos, Hodson e Sangster (1999) afirmam que nas espécies da ordem Coniferae, o Si é sempre depositado conjuntamente com o alumínio, preferencialmente na epiderme das acículas e nos elementos vasculares. Segundo os mencionados autores, a deposição conjunta com o Si seria um mecanismo de isolar o Al tóxico na planta.

O Al presente na parte aérea é o Al na forma neutra, conforme afirma Grassi Filho (2006) e sua presença deve ocorrer principalmente em tecidos não fotossintéticos, conforme afirma Chaves (2002), referindo-se a plantas de *Pinus caribaea*. Portanto, é de se esperar, segundo este autor, que o Al se concentre no floema e, em contrapartida, seriam muito baixos os teores deste elemento no xilema. Essas considerações evidentemente não estão levando em conta a possibilidade da precipitação do Al com o Si, hipótese que está sendo ponderada no presente estudo.

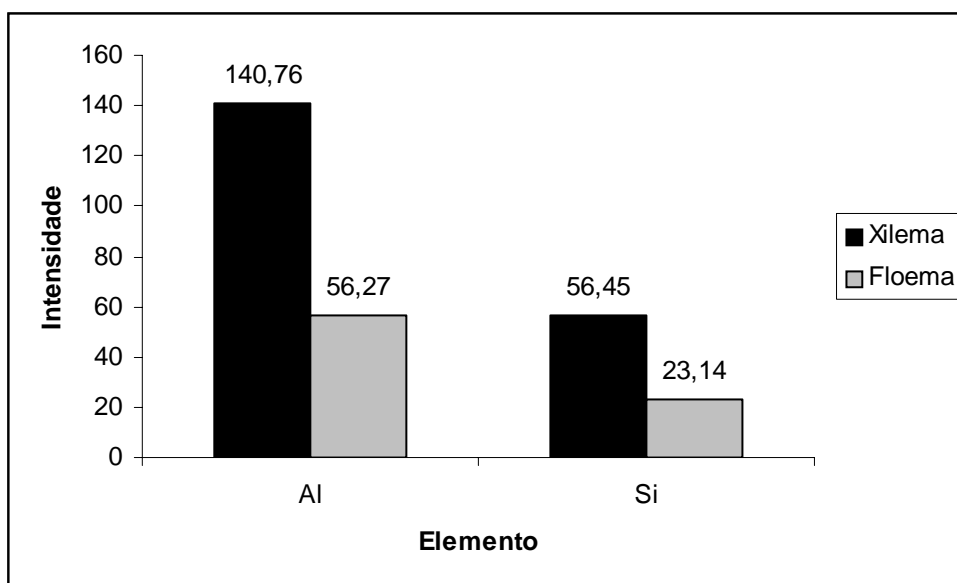


FIGURA 6. Proporção de Al e Si em tecidos (xilema e floema) da parte aérea em planta de *Pinus Caribaea var. hondurensis* sadia (estágio 1).

Em face desta constatação preliminar, as análises foram, então, direcionadas para a situação extrema, isto é, a parte aérea de plantas mortas (estágio 5). Nestas, contrariando o esperado, não foi encontrado acúmulo de Al e ou Si, razão pela qual se desprezou a análise quantitativa (figura 8). Não é dada uma explicação para estes

resultados supostamente contraditórios, uma vez que tais elementos tendem a se concentrar em determinados tecidos.

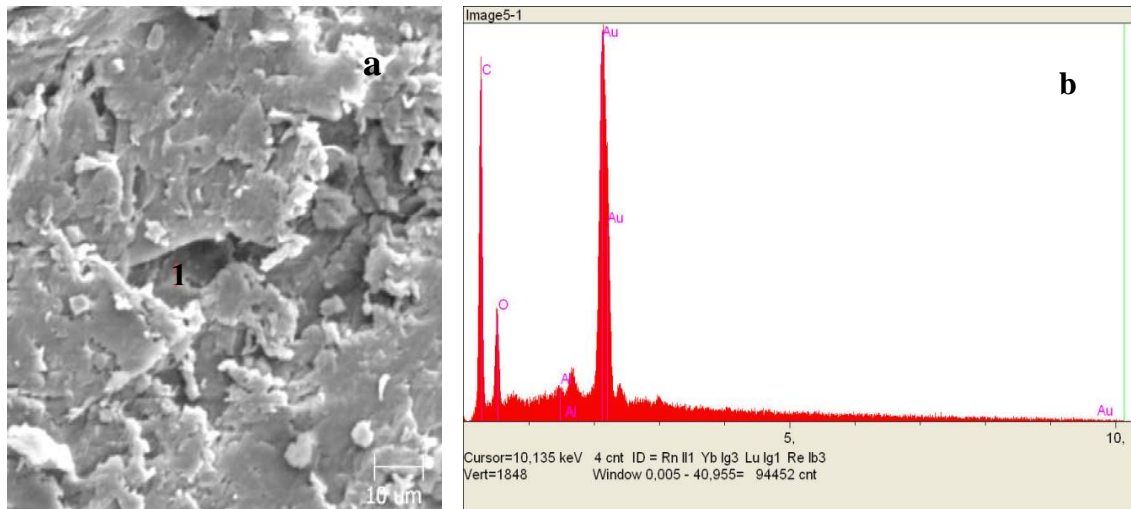


FIGURA 7. Micrografia de tecidos do lenho (a) correspondente ao ponteiro da copa de uma planta morta (estágio 5), com indicação do ponto (1) analisado pela microssonda de raios-X e respectivo espectro (b), revelando virtual ausência de Al e Si.

Analisadas as amostras relativas à parte aérea, abrangendo estágios extremos (1 e 5) apresentando resultados supostamente contraditórios, direcionou-se as demais análises para tecidos da raiz. Foram analisados os estágios senescentes 2, 3 e 4, bem como a classe 5 (planta morta). Observou-se, no xilema radicular de plantas nos estágios 2, 3 e 4, que os teores de Si e Al foram maiores do que aqueles encontrados no floema, em coerência com a hipótese de trabalho. Os dados apresentados na tabela 2, embora de grandeza variável, geram relações Al/Si relativamente estáveis, em torno de 2,6, conforme já observado para a parte aérea. Depreende-se, em concordância com a literatura, que se o Si exerce a função de imobilizar o Al, num mecanismo de isolamento de Al tóxico na planta, isso deve ocorrer no início do fluxo, portanto no xilema. De forma coerente, observa-se que nas análises direcionadas à parede do xilema e do floema em raízes - por exemplo: estágio 4 (figura 9) - os teores de Si e Al apresentam-se maiores no xilema. No entanto, o fato de não se ter encontrado qualquer obstrução de traqueídeos por deposição de silício e alumínio nas partes analisadas, os resultados sugerem que se este processo ocorre no gênero *Pinus*, sua possível constatação deve aparecer nos tecidos condutores no início do fluxo, isto é, nos pêlos radiculares e radículas. Embora o presente estudo não tenha focado esses tecidos

condutores iniciais, sugere, dentro desta linha de pesquisa, a necessidade de se investigar, de forma similar, os tecidos condutores no início do sistema radicular.

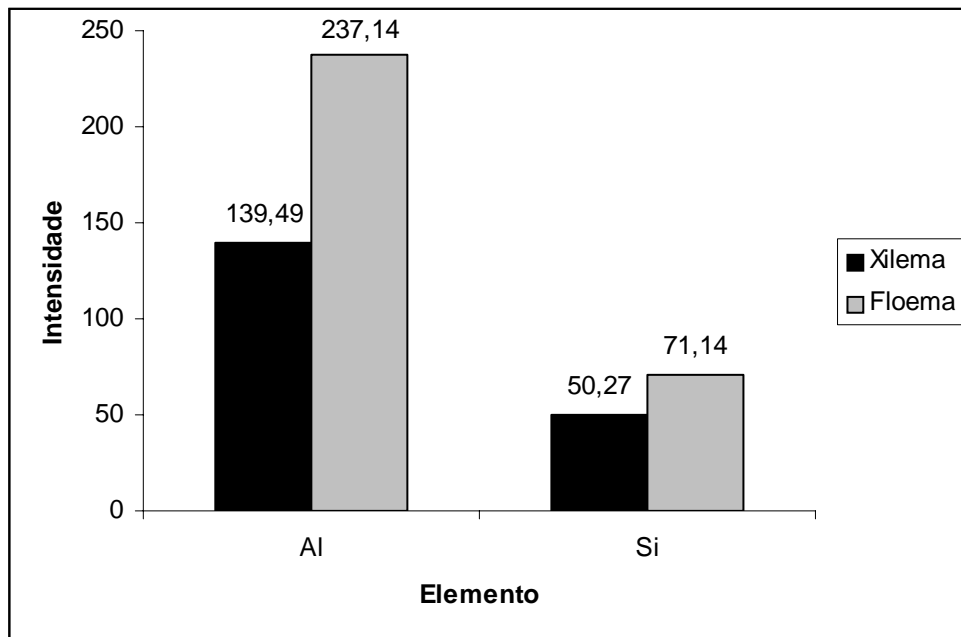


FIGURA 8. Proporção de Al e Si no xilema e no floema de raiz em planta no estágio de senescência 4.

Apesar dos dados disponíveis não serem conclusivos (poucas análises), eles sugerem que, de um modo geral (parte aérea e raiz), quando a quantidade de Al é maior, o Si é proporcionalmente ainda maior, fornecendo uma relação Al/Si mais baixa (tabela 2 – estágios 1 e 4). Por outro lado, quando o tecido apresenta pouco Al, a quantidade de Si é proporcionalmente ainda menor, gerando uma relação Al/Si maior (estágio 4 – tabela 2). Portanto, a amplitude de variação do Si é maior que a do Al. Enquanto para o Si o fator de variação é de 9 vezes (variação de 9,820 a 1,084), para o Al este fator é 6 (variação de 21,437 a 3,561), o que estabelece uma relação entre eles de 1,5.

É provável que a hipótese inicial seja válida, embora não confirmada neste estudo. Porém, pesquisa similar deve ser direcionada às extremidades do sistema radicular: pêlos absorventes e radículas, além da possibilidade deste mesmo estudo ser também realizável em condições controladas.

5 CONCLUSÕES

1. Não ocorreu obstrução de tecidos condutores (traqueídeos) na parte aérea e ou em raízes de pinus, mediante a deposição conjunta de Si e Al;
2. O Si e o Al concentram-se nos tecidos condutores, principalmente no sistema radicular e especialmente no xilema;
3. Quando constatada a presença de Si e Al, eles formam uma relação Al/Si pouco variável;
4. Embora o Al seja abundante em relação ao Si, observa-se que quando o teor de Al é mais elevado, proporcionalmente o de Si é ainda maior e, por outro lado, quando o teor de Al é menor, o de Si é proporcionalmente ainda menor. Isso faz com que a amplitude de variação do Si seja maior que a do Al, estabelecendo uma relação de variação (Si-Al).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MADEIRA. **Catálogo de normas de madeira serrada**. Curitiba: ABPM, 1991.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J., AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrado. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados**. São Paulo: Nobel, 1987.

AZEVEDO, L.G.; CASER, R.L. Regionalização do cerrado em função de seus geossistemas. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO: USO E MANEJO, 1980, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Edusp, 1980. p.285-303.

BACHA, C.J.C.; BARROS, A. L. M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 191-203, 2004.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 325-30, 2001.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MANFROI, A.F.; TASCIA, F.A.; DOMINGOS, M.D.; KLAUBERG-FILHO, O.; MAFRA, A.L. Diversidade da fauna edáfica em mata nativa, floresta de pinus e campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Coletânea...**Ribeirão Preto: SBCS/UNESP, 2003. p.1-4. CD ROM.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CELULOSE E PAPEL. **Statistical Forest Report 2001**. São Paulo, 2002.

BRACELPA. **Avaliação do setor de celulose e papel**: desempenho do setor em 2004. Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/economico.asp>>. Acesso

em: 24 jul. 2007.

CARLSON, C.E.; GILLIGAN, C.J. Histological differentiation among abiotic causes of conifres needles necrosis. **USDA Forest Service Intermountain Research Paper**, Washigton, v. 298, p. 1-17, 1983.

CARVALHO, A.P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J. ; FERREIRA, C.A., BARTOZESCK, A. **Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda***. Colombo: [s.n.], p. 51-66, 1999. (Boletim de Pesquisa Florestal).

CASTRO, C.F.A.; POGGIANI, E.; NICOLIELO, N. **Distribuição da fitomassa e nutrientes em talhões de *Pinus oocarpa* com diferentes idades**. Piracicaba: IPEF, 1980.

CHAVES, R.Q. **Relações solo-planta em povoamentos de *Pinus caribaea* Morelet com indivíduos manifestando amarelecimento das acículas seguindo de definhamento e morte**. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

CHAVES, R.Q.; CORRÊA, G.F. Micronutrientes no Sistema solo-*Pinus caribaea* Moret em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 769-778, 2003.

CHAVES, R.Q.; CORRÊA, G.F. Macronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Moret em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 691-700, 2005.

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDMAMER, J.G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin: Springer Verlag, 1990. p.82-105. ((Ecological studies, 8A).

DORMAN, K.M. **Genetics and breeding of southern Pines**. Washigton: Forest Service, 1976.

DOYLE, J.J.; DOYLE, J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, Oxford, v. 12, n. 27, p. 13-15, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 526 p. (Boletim de pesquisa, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Washington, v.50, p.641-664, 1994.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Soil taxonomy**. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washigton, D.C., Government Printing Office, 1975. (Agriculture Handbook, 436).

EVANS, L.S.; MILLER, P.R. Comparative needles anatomy and relative ozone sensitivity of four species of pinus. **Canadian Journal of Botany**, v.50, Ottawa, p.1067-1071, 1972a.

EVANS, L.S.; MILLER, P.R. Ozone damage to ponderosa pine: a histological and histochemical appraisal. **American Journal of Botany**, Ottawa, v.59, p.297-304, 1972b.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, 1989. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 18).

FARJON, A. **Pines**. Leiden: E. J. Brill, 1984.

FERREIRA, M.A. Situação florestal brasileira e o papel da silvicultura intensiva. **IPEF**. Piracicaba: IPEF, 1989. (Documentos Florestais).

FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. **Anais...**Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.1, p.14-34, 1997.

FRANICH, R.A.; WELLS, L.G.; BARNETT, J.R. Variation with tree age of cuticle topography and stomatal structure in *Pinus radiata*. **Annals of Botany**, London, v.41, p. 621-626, 1977.

FURLEY P.A.; RATTER J.A. Soil resources and plant communities of the Central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, v.15, p.97-108, 1988.

GALETI, P.A. **Conservação do solo-reflorestamento-clima**. 2.ed. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1976.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: PRODEPEF, 1978.

GONÇALVES, J.L.M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica**. Piracicaba: IPEF, 1995. (Documentos florestais, v.48/49)..

GOOR, C.P. A nutrição de alguns pinheiros tropicais. **Silvicultura em São Paulo**, Piracicaba, v. 415, n. 4, p. 313-340, 1966.

GRASSI FILHO, H. **Cobalto, sódio, silício e alumínio**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2000.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucária* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983.

HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Aluminium/silicon interactions in conifers. **Journal of Inorganic Biochemistry**, Chicago, v. 76, p. 89-98, 1999.

HOLFF, R.J.; McDONALD, G.I. Hypersensitive reaction in *Pinus armandii* caused by *Cronatium ribicola*. **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v. 5, p. 146-148, 1975.

HUSTON, M. Soil nutrients and tree species richness in Costa Rican forests. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 7, p. 147-157, 1980.

JORDAN, H.; HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical. **American Naturalist**, Chicago, v. 117, n. 2, p. 167-180, 1981.

KAGEYAMA, P.Y. Conservação in situ de recursos genéticos de plantas. **IPEF**, Piracicaba, v. 35. p. 7-35, 1987.

KIMATI, H.; AMORIN, L.; BERGAMIN-FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. (Ed.) **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 3.ed. São Paulo: CERES, 1997. v.2.

KOCH, P. **Utilization of southern pines: 1 the raw material**. Washington, DC: Forest Service, 1972.

KRIEBEL, H.B.; FOWLER, D.P. Variability in needle characteristics of Scots pine species and hybrids. **Silvae Genetica**, Chicago, v.14, p. 73-76, 1945.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos**. Gottingen: Instituto de Silvicultura de la Universidad de Gottingen, 1986.

LANYON, J.M. **A card key to *Pinus* based on needle anatomy**. New South Wales: Forestry Commission N.S.W., 1966.

LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho-escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, v. 27, p. 41-47, 1984.

LIMA, J.A.S.; MENEGUELLI, N.A.; FILHO, A.B.G.; PÉREZ, D.V. Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical por características de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 109-116, jan. 2003.

LINZON, S.N. Ozone damage and semi mature – tissue needle blight of eastern white pine. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 45, p. 2047-2060, 1967.

MACHADO, S.A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M.B.; FILHO, A.F.; FIGUEIREDO, D.J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regime de desbastes em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.48, p. 41-64, 2004.

MAIELLO, J.M.; BRENNAN, E.G.; LEOWE, I.A. A histological study os Austrian pine needle injured by ambient air pollutants. **Phytopathology**, Oxford, v. 62, p. 496-497, 1972.

MARTINEZ, M. **Los pinos mexicanos**. Mexico: Ediciones Botas, 1948.

MEGGER, R.J. Archeological evidence for the impacto of mega-ninõ events on Amazonia during the past two millennia. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 28, n. 4, p. 321-338, 1994.

MERGEN, F. Applicability of the distribution of stomates to verify pine hybrids. **Silvae Genetica**, Chicago, v. 8, n. 4, p. 107-9, 1959.

MEYER, R.E.; MEOLA, S.M. **Morphological characteristics of leaves and stems of selected Texas woods plant**. Washington: [s.n.], 1978. (Technical bulletin).

MIRANDA, E.E.de (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 24 jul. 2007.

MIROV, N.T. **The genus pinus**. New York: Ronald Press, 1967.

MISSIO, R.F.; MORAES, M.L.T.; DIAS, L.A.S. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 6, p. 27-36, mar. 2007.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volumes estimado pelo sistema sispinus**. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

OLIVA, J.; GIANANTI, R. **Espaço e modernidade: temas de geografia do Brasil**. São Paulo: Atual, 1999.

PEREIRA, G., AGUIAR, J.L. MOREIRA, L.; BEZERRA, H.S. Área e população do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.32, p. 759-763, 1997.

RAITIO, H. Macro e microscopic symptoms in growth disturbed forest trees. In: KOLARI, K.K. (Ed.). **Growth disturbances of forest trees**. Helsinki: [s.n.], 1983, p.35-39.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 135-166.

RESENDE, M., KER, J.C.; BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. In: ALVAREZ, V.H. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.169-199.

RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Estimação de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus*: seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e seus parentes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.28/29, p.11-36, 1994.

ROSA, P.R.F. **Teste de procedência de *Pinus oocarpa* Schiede em três regiões do estado de São Paulo**. 1981. 79p. Dissertação (Mestrado) –Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1981.

RICHARDSON, D.M. **Ecology and biogeography of Pinus**. Cambridge: University Press, 1998.

RODRIGUES, F.H.G. Influência do fogo e da seca na disponibilidade de alimento para herbívoros do cerrado. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. (Ed.). **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília, DF: Embrapa, Brasília, 1996, p.76-83.

SALAZAR, R. Genetic variation in needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf from natural stands. **Silvae Genética**, Chicago, v. 32, p. 52-59, 1983.

SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; LEITE, N.B.; BALLONI, E.A. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1981.

SILVA, S.T. **Aspectos morfológicos e fisio-ecológicos da absorção de ácido silícico em *Curatella americana* L. (Dilleniaceae)**. 1983. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

SNOWDON, P. Diagnosis of boron deficiency in soils by pot experiments with *Pinus radiata*. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.12, p.217-229, 1982.

SNYDER, E.B.; HAMAKER, J.M.A Needle characteristics of hybrids of some species of southern pine. **Silvae Genética**, Chicago, v. 27, n. 5, p. 184-188, 1978.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O Setor florestal brasileiro: fatos e números.** São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://: www.sbs.org.br/estatisticas.htm](http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm)>. Acesso em: 24 jul. 2007.

SOIKKELI, S. Viroses in conifer needles in Finland: description of visible symptoms and ultrastructural aberrations of mesophyll tissue. In: KOLLARI, K.K. (Ed.) **Growth disturbances of forests trees.** Helsinki: [s.n.], 1983, p. 77-83.

SOLBERG, R.A., ADAMS, D.F. Histological responses of some plant leaves to hydrogen fluoride and sulfur dioxide. **American Journal of Botany**, Oxford, v. 43, p. 755-760, 1956.

STEWART, D.; TRESHOW, M.; HARMER, F.M. Pathological anatomy of conifer needle necrosis. **Canadian Journal of Botany**, Canadá, v. 51, p. 1983-1988, 1980.

STONE, E.L.; WILL, G.M. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. **Forest Science**, London, v.11, n.4, p.425-433, 1965.

STYLES, B.T.; STEAD, J.W.; ROLPH, K.J. Studies of variation in Central American pines putative hybridization between *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus oocarpa*. **Turrialba**, Canadá, v. 32, n. 3, p.229-242, 1982. ?

SUASSUNA, J. A cultura do Pinus. **Brasil Florestal**, São Paulo, ano 8, n. 29, p. 27-36, jan./mar. 1977.

THIBAU, C.E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações.** Belo Horizonte: Escriba, 2000.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D.; HAULIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer.** New York: Macmillan,1993.

VALOR FLORESTAL. Mercado de toras. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO PINUS, 2004, Joinville. **Anais...**Joinville: [s.n.], 2004.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos sob Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA- CPAC,1997.

VEIGA, A.A.; VEIGA, J.E.R.; LIMA, O.S.; PINHEIRO, G.S. Macronutrientes e alumínio em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Boletim Técnico Informativo Florestal**, São Paulo, n. 27, p. 1-13, 1997.

VELAZQUEZ, B.B.; PATINO VALERA, F. **Variation morfológica em características de hojas y conos de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* em poblaciones naturales em los altos de chiapas**. México: Andes, 1982. (Boletim técnico INIF).

VILARINHO, C.R.O. **Acumulação de alumínio, cálcio e silício em espécies lenhosas do cerrado em dois solos**. 2002. 61 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

WHITE, J.B.; BEALS, J.O. Variation in number resin canals per needle in pond pine. **Botanical Gazette**, Cambridge, v. 124, n. 3, p. 251-3, 1963.

WHITMORE, T.C. **An introduction to tropical rain forests**. Oxford: Clarendon, 1990.

APÊNDICES

Apêndice A

TABELA 1A. Teores de carbono (C), oxigênio (O), alumínio (Al), silício (Si) e relação Al/Si em tecidos de plantas normais, em senescência e mortas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em duas áreas de amostragem.

ESTRUTURAS CONDUTORAS	ESTÁGIOS	C	O	Al	Si	Relação Al/Si
Porcentagem em peso (%)						
1. ponteiros						
Xilema	1	55,04	44,96	-	-	-
Xilema	1	61,61	37,12	1,27	-	-
Xilema	1	38,06	43,59	12,83	5,52	2,32
Floema	1	53,21	38,67	7,23	0,89	8,12
Floema	1	47,60	44,77	5,65	1,97	2,87
Floema	1	54,35	40,73	3,56	1,36	2,62
2. raízes						
Floema	2	26,34	58,66	11,19	3,81	2,94
Floema	3	39,20	52,11	6,38	2,31	2,77
Floema	4	46,40	48,62	3,89	1,08	3,59
Xilema	4	27,05	56,15	12,22	4,59	2,66
Floema	5	42,96	47,66	6,99	2,39	2,93
Floema	5	15,19	53,55	21,44	9,82	2,18
Floema	5	11,73	51,20	22,45	8,69	2,58

1 planta aparentemente normal (sadia), com acículas de coloração verde intenso

2 planta com acículas de coloração verde-amarela

3 planta com acículas de coloração amarela

4 planta com acículas amarelas e acentuada perda destas

5 planta morta

Apêndice B

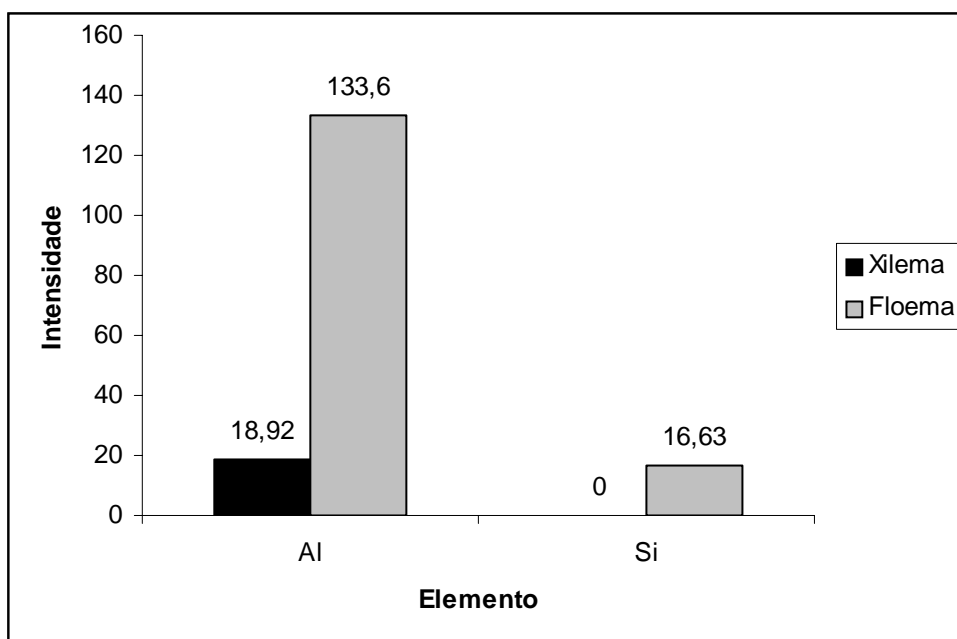


FIGURA 1B. Proporção de Al e Si no xilema e no floema da parte aérea (ponteiro), em uma planta sadia (estágio 1).

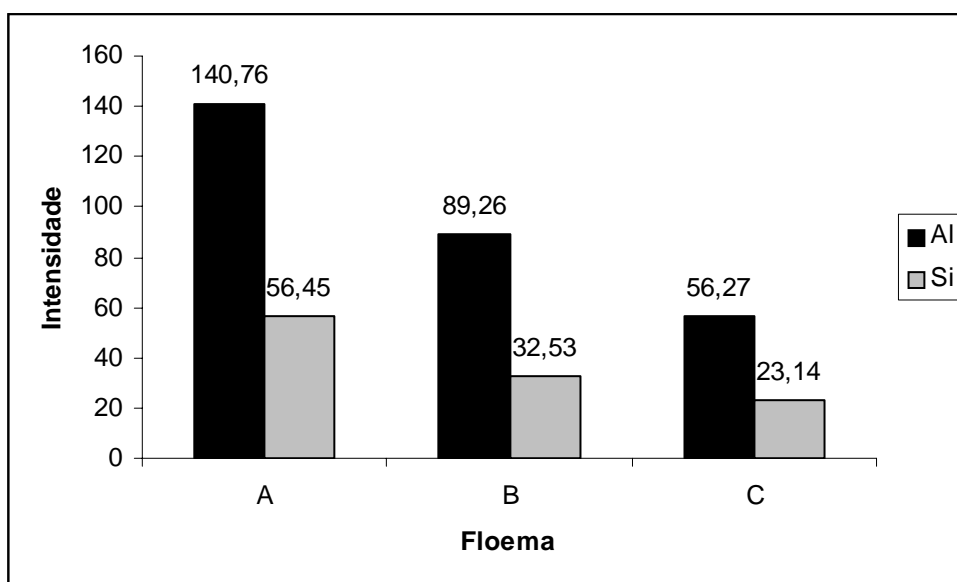


FIGURA 2B. Proporção de Al e Si no floema da parte aérea de uma planta sadia (estágio 1), em três pontos (A, B e C) de direcionamento da microsonda de raios-X.

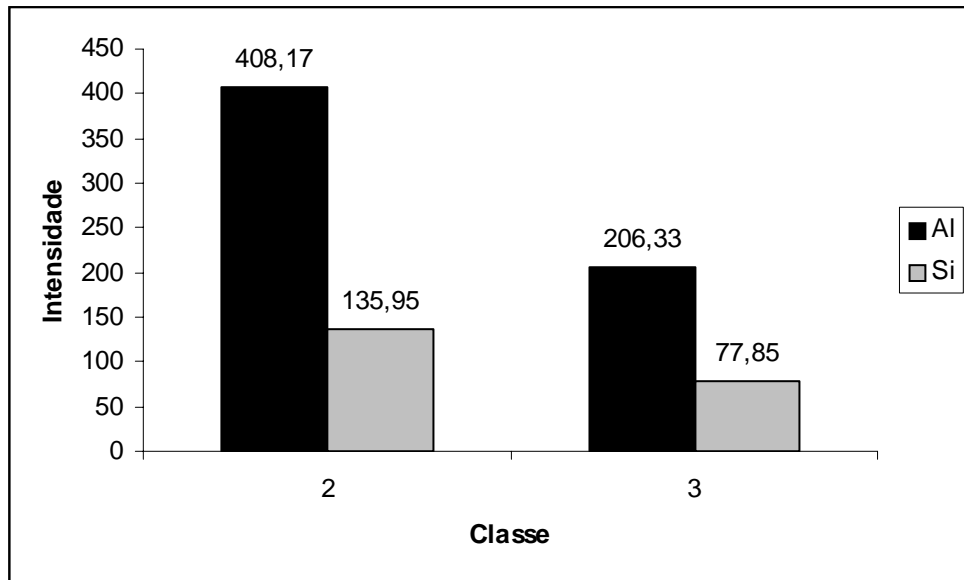


FIGURA 3B. Proporção de Al e Si, no floema de raiz em plantas com acículas de coloração verde-amarelada (classe ou estágio 2), e com acículas de coloração amarela (classe ou estágio 3).

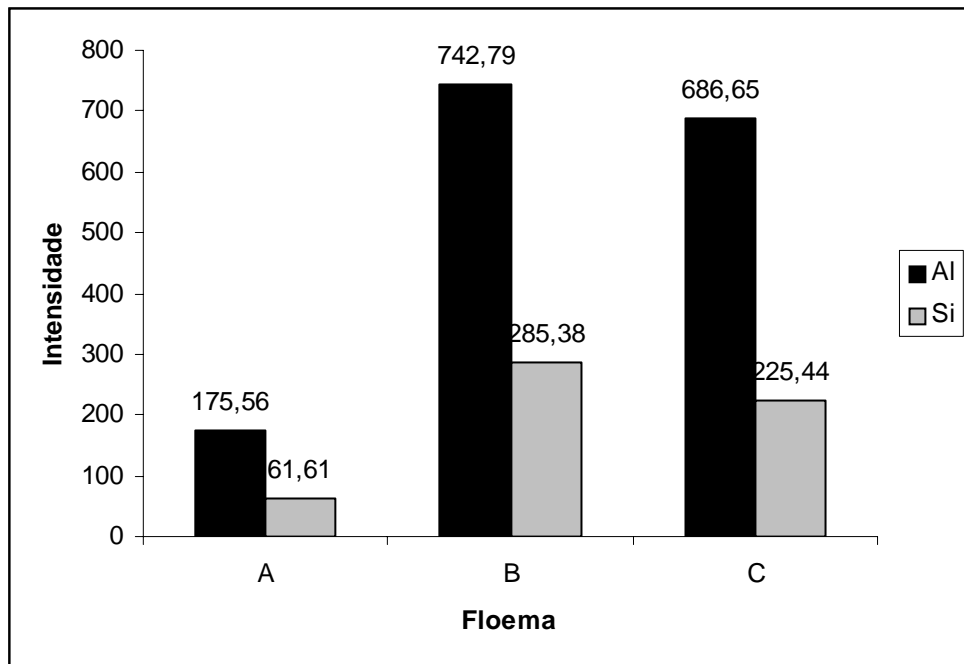


FIGURA 4B. Proporção de Al e Si, no floema de raiz de planta morta (estágio 5), em três pontos (A, B e C) analisados pela microsonda de raios-X.

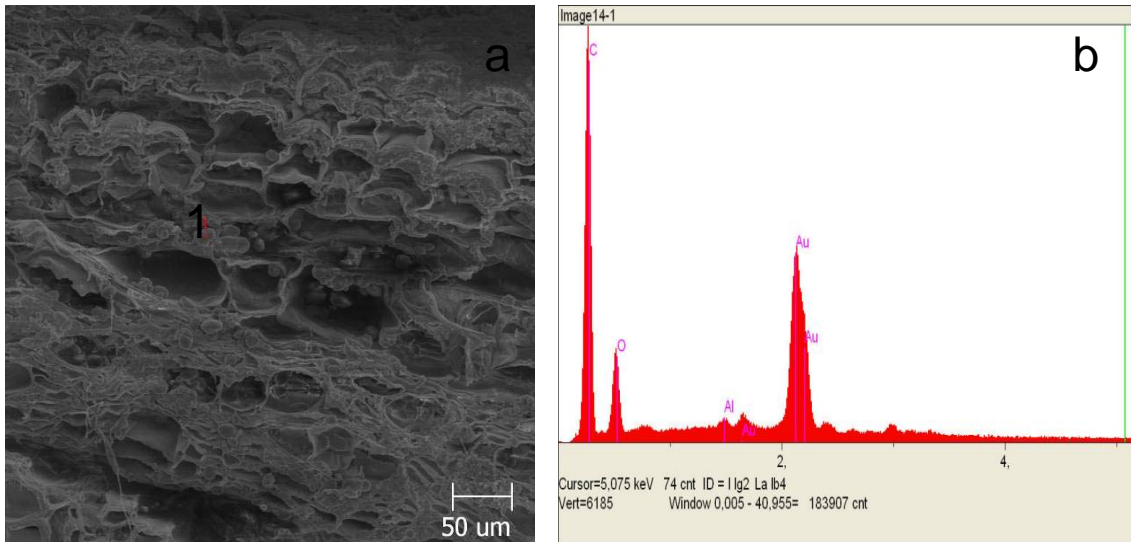


FIGURA 5B. Microcrafia da classe 1, visualizando o ponto B, no floema da parte aérea (a), e seu respectivo espectro de raio-X, mostrando presença pequena presença de Al e ausência de Si(b).

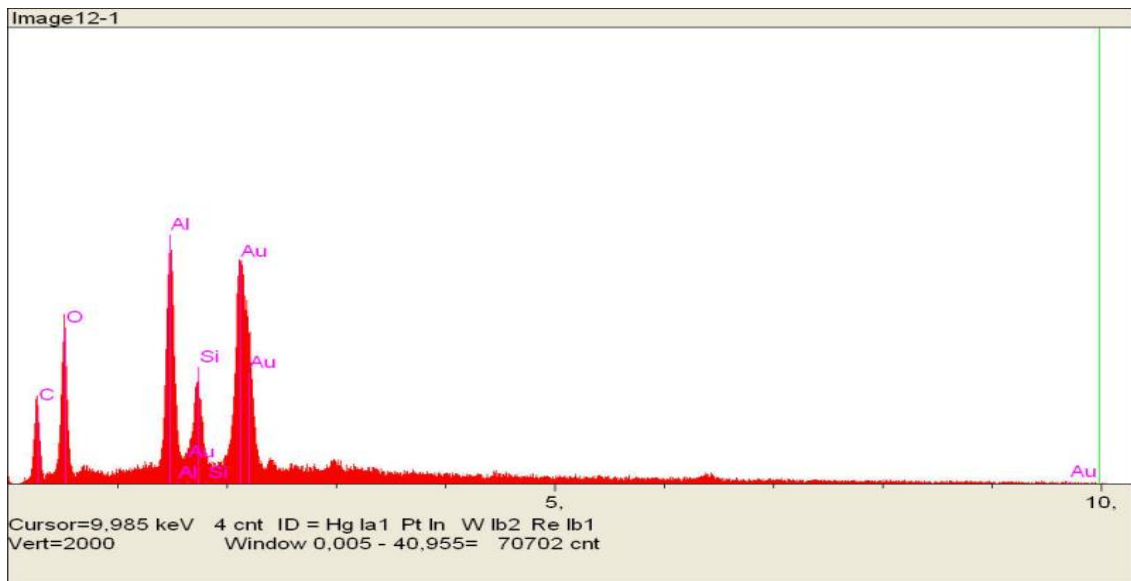


FIGURA 6B. Espectro de raios-X de uma planta sadia (estágio 1), mostrando pequena presença de Al e Si.

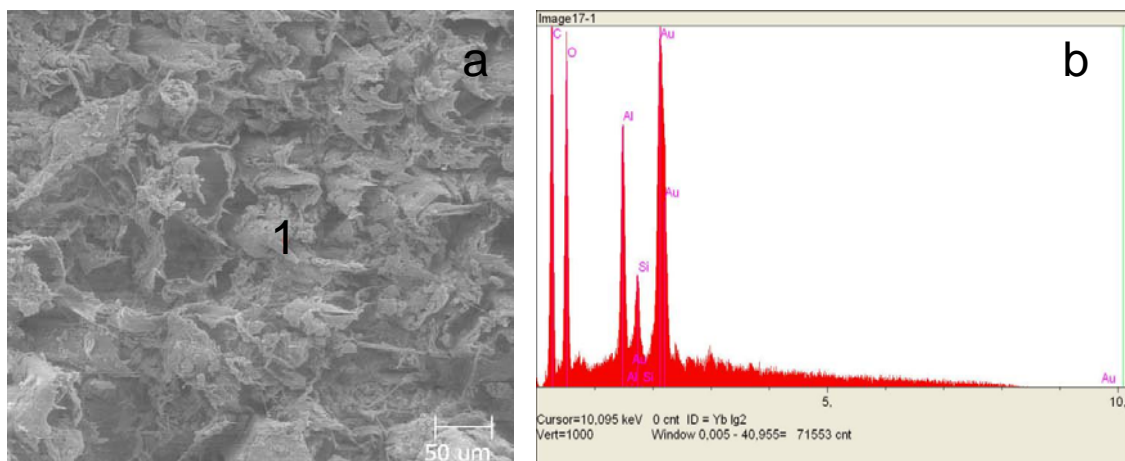


FIGURA 7B. Micrografia de tecido do floema no ponteiro da copa, em planta sadia (estágio 1) (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado à parede de uma estrutura condutora (ponto 1), mostrando presença de Al e Si (b).

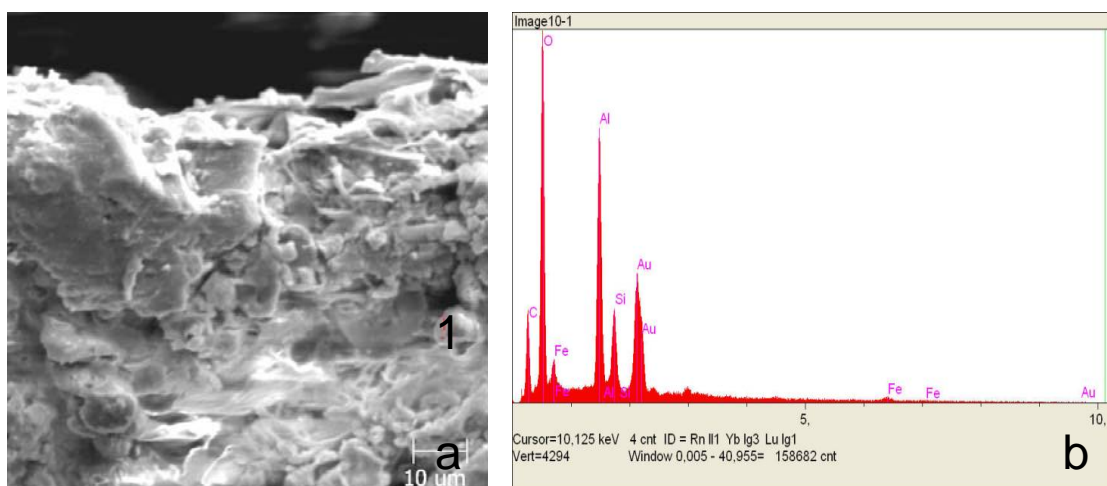


FIGURA 8B. Micrografia de tecidos do floema em raiz de planta no estágio 2 (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado a uma estrutura de aspecto nodular (1), mostrando presença de Al e Si (b).

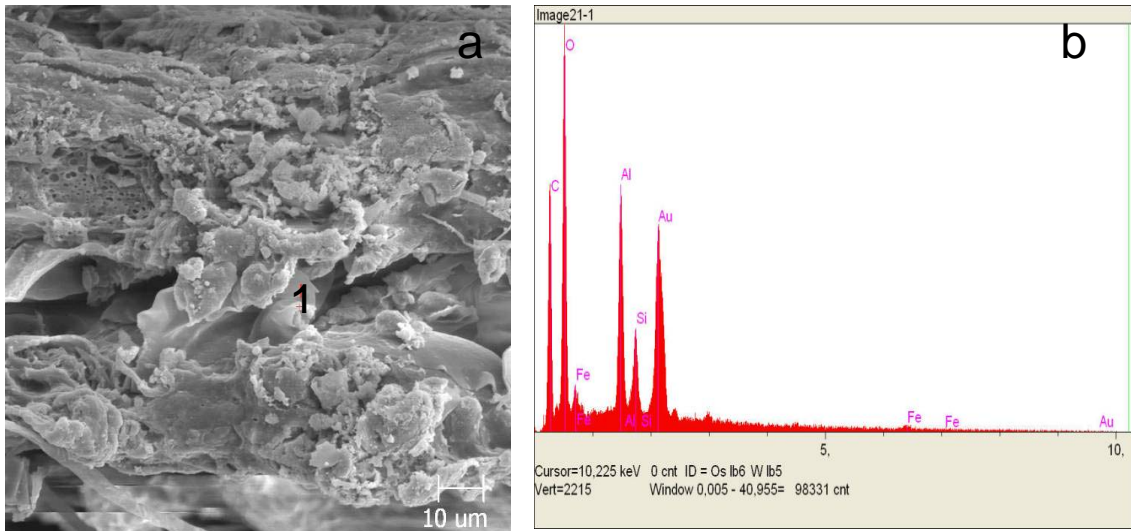


FIGURA 9B. Micrografia de tecidos do floema, na porção terminal (ponteiro) da parte aérea de planta no estágio 3 (a) e respectivo espectro de raios-X referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).

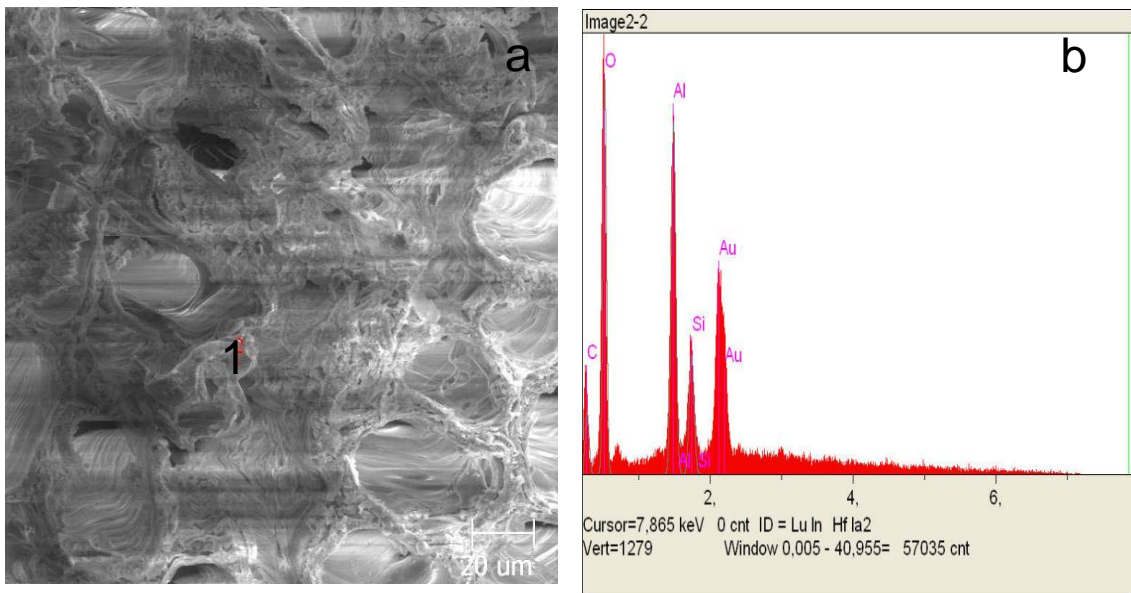


FIGURA 10B. Micrografia de tecidos do xilema em raiz de planta no estágio 4 (a) e respectivo espectro de raios-X, referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).

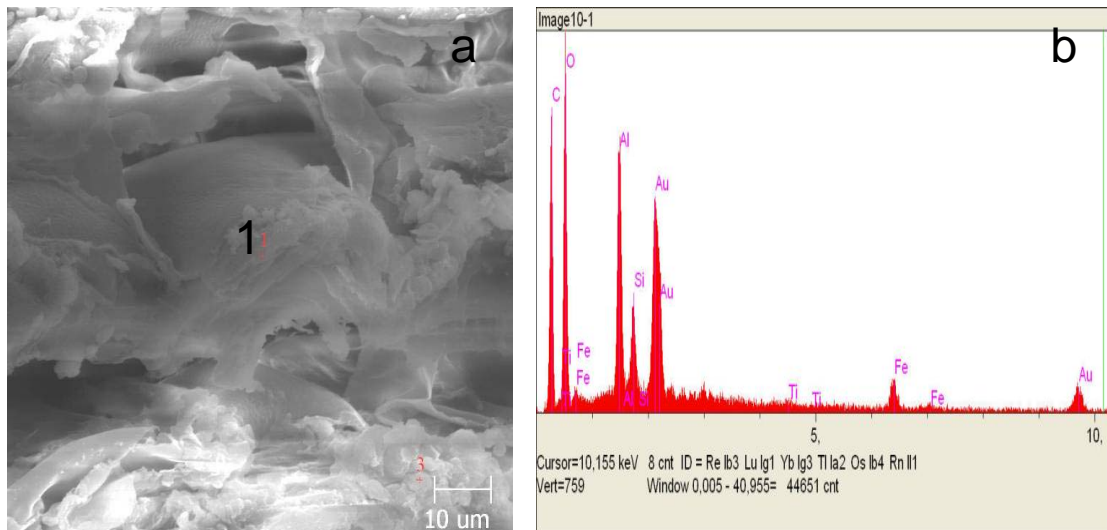


FIGURA 11B. Micrografia de tecidos do floema em uma raiz de planta morta (estágio 5) (a), e respectivo espectro de raios-X referente ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).

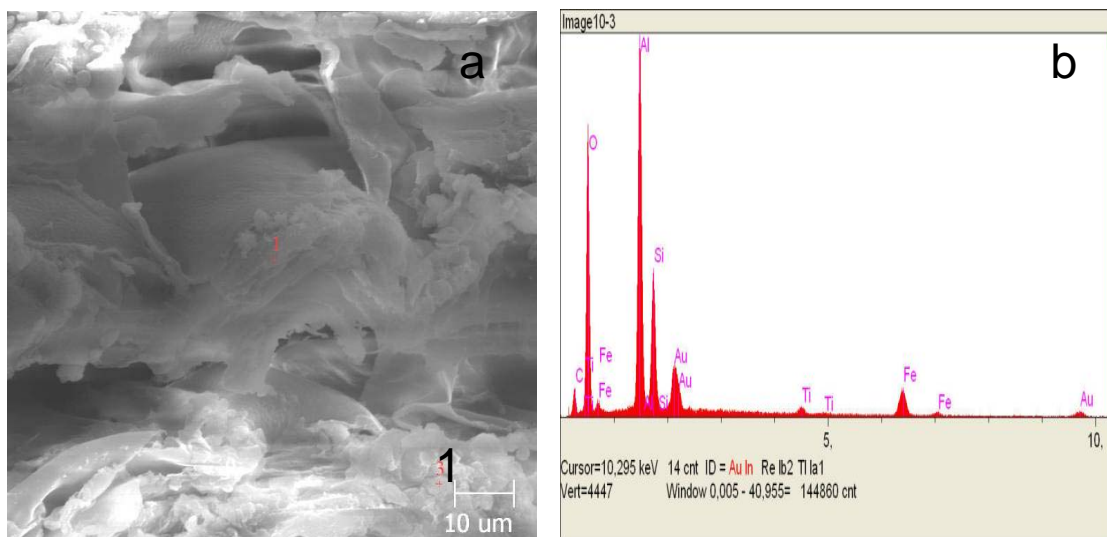


FIGURA 12B. Micrografia de tecidos do floema em radicular em uma planta morta (estágio 5) (a) e respectivo espectro de raios-X, direcionado ao ponto 1, mostrando presença de Al e Si (b).