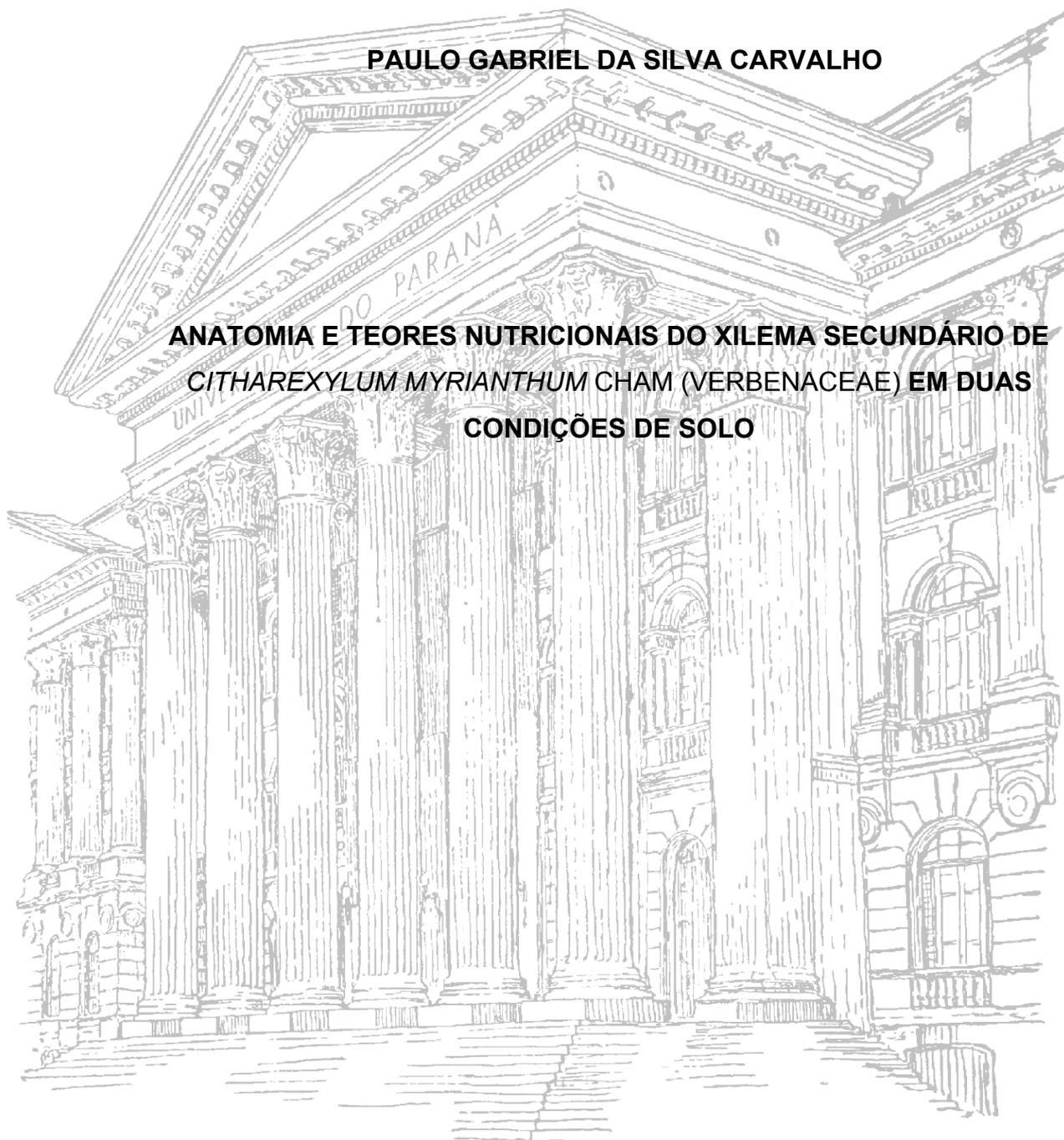


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**PAULO GABRIEL DA SILVA CARVALHO**

**ANATOMIA E TEORES NUTRICIONAIS DO XILEMA SECUNDÁRIO DE  
*CITHAREXYLUM MYRIANTHUM* CHAM (VERBENACEAE) EM DUAS  
CONDIÇÕES DE SOLO**



**CURITIBA**

**2013**

**PAULO GABRIEL DA SILVA CARVALHO**

**ANATOMIA E TEORES NUTRICIONAIS DO XILEMA SECUNDÁRIO  
DE *CITHAREXYLUM MYRIANTHUM* CHAM (VERBENACEAE) EM DUAS  
CONDIÇÕES DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Botânica.

Orientadora: Prof. Dra. Patricia Soffiatti  
Co-Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

**CURITIBA**

**2013**



Ministério da Educação  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Setor de Ciências Biológicas  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BOTÂNICA



**“Anatomia ecológica do xilema secundário de  
Citharexylum myrianthum Cham (Verbenaceae) em duas  
condições de solo, Reserva Natural Rio Cachoeira,  
Antonina, Paraná”**

por

**PAULO GABRIEL DA SILVA CARVALHO**

Dissertação aprovada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre no Programa  
de Pós-Graduação em Botânica, pela Comissão  
formada pelos Professores

**Profª Drª Patricia Soffiatti (UFPR)- PRESIDENTE**

**Profª Drª Maria Regina Torres Boeger (UFPR)**

**Profª Drª Leila Teresinha Maranhão (Universidade Positivo)**

**Curitiba, 22 de maio de 2013.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter sempre me abençoado. Nossa Senhora da Conceição Aparecida e a São João Paulo II por sempre intercederem por mim a Jesus Cristo estando ao meu lado em todas as fases da minha vida, me abençoando com as amizades que tive ao longo dessa jornada e principalmente, me abençoando com professores tão sábios e pacientes.

Aos meus pais heróis, Sebastião de Carvalho e Clarice Ap. da Silva Carvalho, por sempre ter me apoiado, me amado e me consolado nos momentos que eu pensei em desistir. Ao meu irmão Tiago da Silva Carvalho, por sempre que precisei tive as suas sábias palavras me aconselhando, me abençoando e agradeço por tantas vezes ter colocado meu nome no altar durante as missas. Ao meu irmão Daniel da Silva Carvalho por ter me acompanhado durante todos estes anos de estudos, me apoiando e me tolerando sugerindo valiosas ideias para esse trabalho acredito que sem você esse trabalho não teria nem saído do papel. A vocês dedico essa dissertação.

Agradeço a minha Amada Mestra Dra. Patricia Soffiatti que mesmo sabendo que seria um grande desafio, devido as minhas dificuldades, aceitou me orientar. Sempre terei uma profunda gratidão pela dedicação com esse trabalho no qual foi muito além de uma simples orientação, não a tendo hoje apenas como professora e sim como uma grande amiga, parceira e confidente. Acredito que sem a sua sábia orientação não teria conseguido.

Ao meu Co- Orientador Dr. Renato Marques por ter aceitado trabalhar conosco e pelas valiosas sugestões principalmente no que se refere á nutrição vegetal.

Á Dra Maria Regina Torres Boeger que foi a primeira a abrir as portas dessa instituição e ter me apresentado á anatomia funcional. Para mim, é motivo de muita alegria te-la em minha banca.

A todos os amigos do programa principalmente a João Henrique Delfrate Padilha, Ligia Debone Piazza, Juliana Wojciechowski, Rodrigo Cordeiro, por ter escutados os meus desabafos e ter compartilhado momentos de angustias e estresses durante esses dois anos, acredito que sem vocês o mestrado seria monótono e sem graça.

Ao meu Grande amigo Allan Maurício Sanches Baptista de Alvarenga que mesmo pela sua pequena estatura tem um enorme coração, estando sempre

disposto a me ajudar, me aconselhar e me escutar nos momentos que eu mais precisei, no término deste trabalho.

Ao meu irmão de coração Haypha Mendes Vieira, que por muitas vezes me atendeu e escutou minhas lamentações, que mesmo pela pouca idade soube me aconselhar e me incentivar me considerando como um irmão verdadeiro.

Aos grande parceiros e amigos representados aqui pelo Thiago Ramos Costa, Pedro Henrique Malucelli Mariotto e Pedro Henrique Masini Delgado Escarmanhani pela valiosa amizade e companheirismo durante essa jornada, que muitas vezes pedi ajuda e prontamente me auxiliaram sem medir esforços, acredito que vocês tem grande parcela dessa conquista.

Ao CNPQ pela disponibilidade de bolsa durante meus estudos. Aos membros da banca, por todas as contribuições que foram essenciais para finalização dessa dissertação. E a todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho que representa uma grande etapa e conquista da minha vida. A TODOS O MEU MUITO OBRIGADO, QUE DEUS OS ABENÇÕE.



## SUMÁRIO SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS DO CAPITULO

LISTA DE FIGURAS DO CAPITULO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO.....13

MATERIAL E  
MÉTODOS.....15

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE  
ESTUDO.....15

ESTUDO  
ANATOMICO.....16

DENSIDADE BÁSICA DO  
XILEMA.....17

TEORES NUTRICIONAL DO XILEMA  
SECUNDÁRIO.....18

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DOS  
SOLOS.....19

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS DO XILEMA  
SECUNDÁRIO.....19

ANÁLISE DOS VALORES DE TEORES DE NUTRIENTES COM RELAÇÃO  
AOS ATRIBUTOS ANATÔMICOS DO XILEMA SECUNDÁRIO.....20

RESULTADOS.....20

DISCUSSÃO.....29

REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS.....34

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Altura e diâmetro dos indivíduos estudados em cada população na Reserva Natural Rio Cachoeira, APA de Guaraqueçaba, Antonina, PR, com os respectivos média, desvio padrão e número de coletor .....17

**Tabela 2.** Médias e desvio padrão dos atributos químicos e físicos dos dois tipos de solo, Cambissolo e Gleissolo, das duas áreas de estudo na Reserva Rio Cachoeira, Antonina, PR (C.ardoso *et al.* 2012). Letras diferentes indicam que os valores são significativamente diferentes para  $p < 0,05$ . .....19

**Tabela 3:** Média e desvio padrão e valores mínimo e máximo dos atributos do xilema secundário mensurados e da densidade da madeira para cada área estudada.....23

**Tabela 4:** “Loadings” da análise de componentes principais mostrando a influência de cada variável em relação aos dois primeiros eixos da ordenação .....25

**Tabela 5:** Média e desvio padrão dos teores de macro e micronutrientes das amostras de madeira de 15 indivíduos por população, na área de Cambissolo e de Gleissolo na Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR.....25

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Área onde foram realizadas as coletas (\*), dentro da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina-PR.....16

**Figuras 2 a 5.** Anatomia do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum*. Figs. 2 a 4. Secções transversais. Fig. 2. Indivíduo do Cambissolo. Vasos com arranjo difuso. Fig. 3. Indivíduo do Gleissolo. Vasos formando anel semi poroso. Fig. 4. Detalhe da camada de crescimento, demarcada por faixa de fibras com paredes mais espessadas. Fig. 5. Material dissociado. Elemento de vaso com placa de perfuração reticulada, fibras. Barras de escala: 2, 3= 500  $\mu\text{m}$ ; 4, 5 = 100  $\mu\text{m}$ .....21

**Figuras 6 a 9.** Anatomia do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum*. Figs. 6 a 8. Secções longitudinais tangenciais. Fig. 6. Raios. Fig. 7. Detalhe de um vaso. Note as pontoações areoladas, alternas. Fig. 8. Fibras septadas. Fig. 9. Secção longitudinal radial. Raio heterogêneo, com corpo formado por células procumbentes, e margens por células quadradas a eretas. Barras de escala: 6 = 500  $\mu\text{m}$ ; 7 = 250  $\mu\text{m}$ ; 8, 9 = 100  $\mu\text{m}$ .....22

**Figura 10.** Análise de Componentes Principais através da análise de variância multivariada não paramétrica dos parâmetros quantitativos do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas duas áreas de estudo. Os dois primeiros eixos dos componentes explicaram aproximadamente 54% da variação dos dados originais. Altraio = altura do raio; Compf = comprimento da fibra; Compv = comprimento do vaso; Espf = espessura da fibra; Espv = espessura de vaso; Freqraio = frequência de raio; Freqv = frequência de vaso; Lagraio = largura do raio.....24

**Figura 11.** Análise de componentes principais (PCA) mostrando as diferenças entre o nível nutricional do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas áreas de Cambissolo e Gleissolo. Somente o primeiro eixo da PCA é interpretável segundo o critério de Broken-Stick. N = porcentagem de

Nitrogênio; C = porcentagem de Carbono; Outros = Fósforo (P) (g/kg), Potássio (K) (g/kg), Cálcio (Ca) (g/kg), Magnésio (Mg) (g/kg), Cobre (Cu) (mg/kg), Manganês (Mn) (mg/kg), Ferro (Fe) (mg/kg) e Zinco (Zn) (mg/kg).....26

**Figura 12.** Análise de redundância (RDA) mostrando a relação entre as variáveis anatômicas e de nutrientes dos indivíduos de *Citharexylum myrianthum* nas áreas de Cambissolo e Gleissolo. Nutrientes: N = porcentagem de Nitrogênio; C = porcentagem de Carbono; Outros = Fósforo (P) (g/kg), Potássio (K) (g/kg), Cálcio (Ca) (g/kg), Magnésio (Mg) (g/kg), Cobre (Cu) (mg/kg), Manganês (Mn) (mg/kg), Ferro (Fe) (mg/kg) e Zinco (Zn) (mg/kg).....27

## **ANATOMIA E TEORES NUTRICIONAIS DO XILEMA SECUNDÁRIO DE *CITHAREXYLUM MYRIANTHUM* CHAM (VERBENACEAE) EM DUAS CONDIÇÕES DE SOLO**

### **Resumo**

As características físico-químicas dos solos podem afetar o xilema secundário, ocasionando modificações na estrutura anatômica. O objetivo deste estudo foi o de comparar a estrutura anatômica e os teores nutricionais do xilema secundário em duas populações de *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae) que ocorrem em dois tipos de solo, Cambissolo e Gleissolo, em uma área de Mata Atlântica, correlacionando-as com as características químicas e físicas destas duas condições edáficas. As amostras de xilema secundário foram coletadas na altura do DAP (diâmetro a altura do peito), em 15 indivíduos de cada população. Para o estudo anatômico, as amostras foram fixadas em FAA<sub>50</sub>, seccionadas nos planos transversal, longitudinal tangencial e radial, coradas com safranina e montadas em lâminas permanentes, seguindo as técnicas usuais utilizadas em anatomia da madeira. As características quantitativas analisadas foram comprimento e diâmetro dos elementos de vaso, comprimento e espessura da parede das fibras, altura e largura dos raios, frequência dos vasos e raios. Para a análise dos teores nutricionais da madeira, as amostras foram moídas em moinho de Wiley e submetidas às técnicas usuais para a determinação dos teores de macro e micronutrientes. Para comparação entre as populações dos parâmetros anatômicos quantitativos e os teores nutricionais, e os teores nutricionais e as características anatômicas, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de Variância Multivariada não-paramétrica (MANOVA). As características qualitativas gerais do xilema secundário de *C. myrianthum* em ambas as populações foram semelhantes ao descrito na literatura, entretanto foram observadas diferenças quanto à porosidade. Os dados anatômicos quantitativos foram diferentes entre as populações, onde no Gleissolo mostraram os maiores valores de frequência de vaso, espessura da parede dos elementos de vaso e comprimento das fibras e no Cambissolo apresentaram os maiores valores de comprimento dos vasos e espessura da parede das fibras.

Os teores nutricionais do xilema secundário revelaram que os indivíduos Gleissolo apresentaram maiores teores de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn), enquanto as plantas do Cambissolo mostraram maiores porcentagens de Carbono (C) e Nitrogênio (N). Para demonstrar a correlação entre os teores nutricionais e as variáveis anatômicas, foram realizadas análises utilizando o Teste de Mantel e a Análise de Redundância (RDA), onde os teores de K, Cu e Mn estão correlacionados à maior frequência de vasos e espessura da parede dos vasos para a população do Gleissolo, enquanto que na população do Cambissolo as maiores porcentagens de C e N estão correlacionadas à largura dos raios. O xilema secundário de *C. myrianthum* responde distintamente às duas condições de solo, considerando-se a anatomia e os teores nutricionais, que podem ser correlacionados às condições edáficas, desempenhando um papel importante na adaptação da espécie a cada condição.

### **Abstract**

The physical and chemical soil characteristics can influence the secondary xylem, triggering structural responses that can be observed in wood anatomy. The aim of this study was to compare the anatomical structure and nutrient levels of the secondary xylem in two populations of *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae), occurring in two soil types, Gelisol and Cambisol, in an area of Atlantic Forest, correlating to the physical and chemical characteristics of these edaphic conditions. Secondary xylem samples were collected at breast height in 15 individuals from each population. For the anatomical study, samples were fixed in FAA<sub>50</sub>, sectioned in transverse, longitudinal tangential and radial planes, stained with Safranin and mounted in permanent slides according to standard techniques in wood anatomy. The quantitative features analyzed were vessel elements diameter and length, fiber length, vessel elements and fibers wall thickness, rays height and width, vessel and ray frequency. For the nutrients level in wood, samples were ground in a Wiley mill and techniques for determining the levels of macro and micronutrients were used. In order to compare the wood anatomical quantitative parameters between the areas, the nutrient levels in wood between the areas, wood anatomy and nutrient levels we used a Principal Component Analysis (PCA)

and Multivariate Analysis of Variance Nonparametric (MANOVA). The qualitative characteristics of the secondary xylem of *C. myrianthum* in both sites were similar to those observed in the literature, however populations showed differences in porosity. Quantitative data were different between the two populations, where the Gelisol showed higher values for vessels frequency, vessel wall thickness and fiber length, and higher values vessel elements of length and fiber wall thickness for the population of Cambisol. Nutrients levels in secondary xylem between populations revealed that individuals of Gelisol showed higher levels of Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Copper (Cu), Manganese (Mn), Iron (Fe) and Zinc (Zn), while the plants of Cambisol showed the highest percentages of Carbon (C) and Nitrogen (N). To demonstrate how wood anatomy and nutrients levels correlate we used a Mantel test and a Redundancy Analysis (RDA), showing that higher levels of K, Cu and Mn were correlated to vessel frequency and vessel wall thickness for Gelisol population, while the Cambisol population showed higher percentages of C and N, correlated to wider rays. The secondary xylem of *C. myrianthum* responds distinctly to both soil conditions, regarding anatomy and nutrients levels, which can be correlated to the chemical-physical characteristics of each type of soil, playing an important role in the adaptation of the species to each condition.

## **Introdução**

A estrutura anatômica do xilema secundário pode ser afetada por vários fatores ambientais, tais como luminosidade, pluviosidade, umidade, temperatura, altitude e características do solo (MARCATI *et al.*, 2005, 2008; BARROS *et al.*, 2006; LUCHI 2004; MELO JUNIOR *et al.*, 2011; BOSIO, ET AL, 2010; NOSHIRO *et al.*, 2010). Estes fatores abióticos afetam a atividade cambial gerando alterações no tamanho e na organização dos elementos celulares que compõem o lenho, que podem ser interpretados como respostas ao ambiente (CARLQUIST & HOEKMAN 1985; BAAS & SCHWEINGRUBER 1987; BARAJAS-MORALES 1985; ALVES & ANGYALOSSY 2000; 2002; MARCATI *et al.*, 2005, 2008).

Dentre os fatores abióticos, o solo influencia diretamente as plantas, afetando a fenologia (BORCHERT 1994; NORD & LYNCH 2009; CARDOSO *et al.*, 2012), estrutura foliar (WRIGHT *et al.*, 2002; NIIMETS & KULL 2003; DOMINGUEZ *et al.*, 2012) e o xilema secundário (MORAES *et al.*, 2002; KOSTIAINEN *et al.*, 2004; FROMM 2010). Alguns estudos mostram que há uma relação estreita entre os atributos químicos do solo com a estrutura do xilema secundário. MORAES *et al.*, (2002) relacionaram a flexibilidade do caule de uma espécie de seringueira (*Hevea* spp) com a carência do Boro no solo, constatando que ocorreu um enfraquecimento na parede celular das fibras e dos elementos de vaso. RIGATTO *et al.*, (2004) analisaram a madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose, verificando que em solos mais férteis os níveis de celulose são menores em relação ao níveis de lignina. LAUTNER *et al.*, (2006) observaram a influência do Cálcio na formação da madeira em populações de *Populus tremula* e *P. tremuloides*, constatando que as diferentes concentrações deste nutriente afetaram a atividade cambial. ANTONY *et al.*, (2009) estudaram o efeito da adubação do solo nas propriedades da madeira de *Pinus taeda*, encontrando diferenças no diâmetro radial as células entre as áreas de estudo e FROMM (2010) estudou o papel do Cálcio e do Potássio na formação do xilema secundário. Além destes, alguns estudos demonstram que as condições hidrológicas do solo podem ocasionar diferenças anatômicas no xilema secundário tais como os trabalhos de LUCHI (2004), que estudou a anatomia do lenho de *Croton urucurana* em três áreas com diferentes níveis de umidade do solo, concluindo que a espécie responde diferentemente; BOSIO *et al.*, (2010) analisaram a anatomia do xilema secundário de *Miconia sellowiana* em três tipos de formação Atlântica, observando que a espécie é afetada principalmente pela retenção de água no solo; MELO JUNIOR *et al.*, (2011) analisaram a anatomia do xilema de *Copaifera langsdorffii* em três condições edáficas distintas em uma região de cerrado concluindo que a disponibilidade hídrica do solo modificaram alguns parâmetros anatômicos.

*Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae) é uma espécie típica da Mata Atlântica, associada a regiões com alta umidade e alagamentos constantes, ou em capoeirões de planícies (MACHADO *et al.*, (2005); SALÍMENA *et al.*, (2012). Sendo uma espécie pioneira, apresenta ótima

regeneração natural em vários estágios de sucessão secundária (CARVALHO, 2003), muito utilizada para recuperações de áreas degradadas (ALVES, 2007).

Sobre a anatomia da madeira nesta família, citam-se apenas os estudos de METCALFE & CHALK (1950) e OHTANI *et al.*, (1989), com *Gmelina arborea*. Estudos anatômicos com a espécie são ainda mais escassos, podendo-se citar os trabalhos de GOMES *et al.*, (1989), que investigaram os tipos de placas de perfuração, BARROS *et al.*, (2006), que analisaram a anatomia ecológica da madeira de espécies de uma comunidade arbórea no de Rio de Janeiro, incluindo *C. myrianthum*; MARCATI & ANGYALOSSY (2005), que verificaram a ocorrência de cristais de oxalato de cálcio na zona cambial.

O objetivo deste estudo foi comparar a estrutura anatômica do xilema secundário em duas populações de *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae) que ocorrem em dois tipos de solo, Cambissolo e Gleissolo, em uma área de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, na Reserva do Rio Cachoeira, Antonina, Paraná, para verificar quais as alterações anatômicas e nutricionais do lenho que podem ser correlacionadas às características físico-químicas dos dois tipos de solos.

## **Material e métodos**

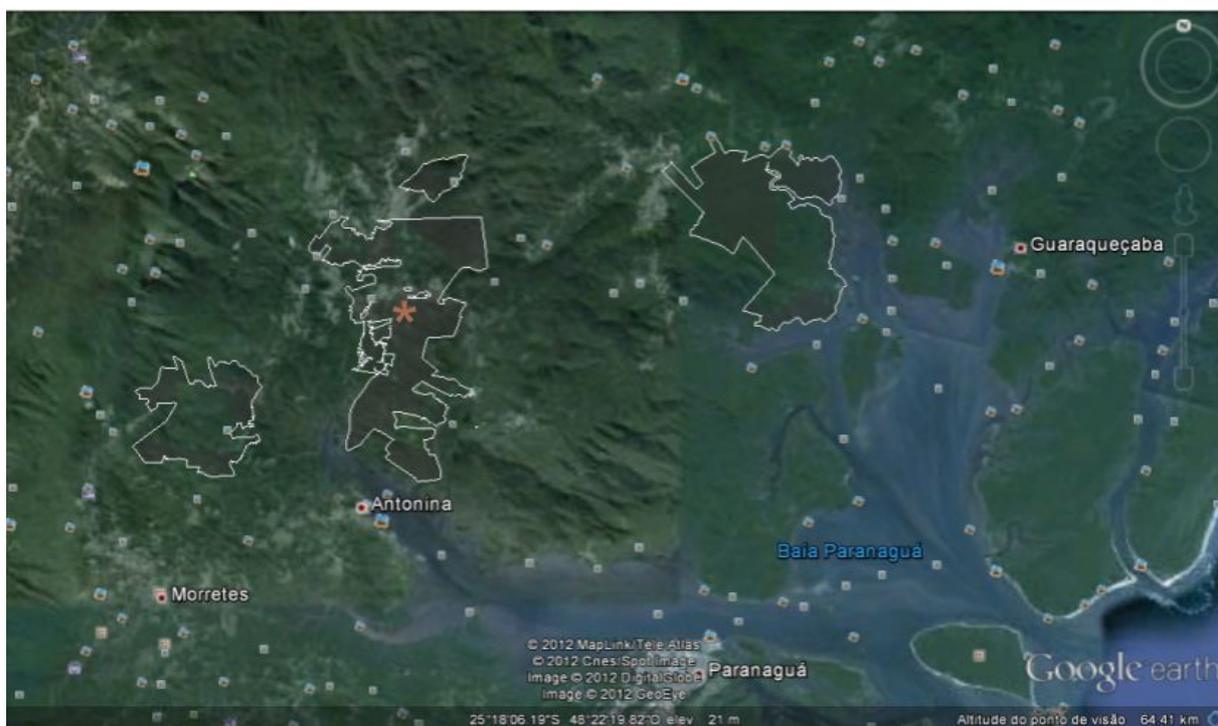
### **Caracterização das áreas de estudo**

As coletas das amostras de xilema secundário foram realizadas em duas populações de *Citharexylum myrianthum* Cham. da mesma idade, que ocorrem em duas áreas na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, localizadas na Reserva Natural Rio Cachoeira, no município de Antonina-PR, pertencente à Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental do Paraná (SPVS) (25°18'19" S e 48°22'82" W, altitude de 2 a 900 m (s.n.m) (Fig. 1). O clima predominante na área de estudo, segundo Köppen (1948), é chuvoso tropical sempre úmido na planície (Aft), sem estação seca definida e isento de geadas. Cada área selecionada para coleta ocorre em um tipo de solo: Cambissolo e Gleissolo.

Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com características que variam muito de um local para outro, podendo ser desde fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, ricos

em nutrientes (Embrapa 1999). Normalmente, possuem horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (EMBRAPA 1999).

O Gleissolo compreende solos hidromórficos, permanente ou periodicamente saturados por água, mal drenados, constituídos por material mineral, podendo ter textura arenosa somente nos horizontes superficiais, pobres em nutrientes (Embrapa 1999).



**Figura 1:** Área onde foram realizadas as coletas (\*), dentro da Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR.

### **Estudo anatômico**

Para o estudo anatômico foram coletadas amostras de caule com cerca de 5 cm<sup>3</sup>, de 15 indivíduos adultos saudáveis, com 10 a 30 cm de diâmetro, e mesma idade, em dois tipos de solo, na altura do DAP (diâmetro a altura do peito) (Tabela 1). As amostras foram coletadas com serrote e formão, e o local de retirada das amostras foi tratado com calda bordalesa. Vouchers foram depositados no Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná (UPCB) (P. Carvalho 1 a 30).

As amostras foram fixadas e armazenadas em FAA 70, amolecidas em água na placa de aquecimento, e posteriormente seccionadas em micrótomo de deslize na espessura de 15 a 25 µm, seguindo as técnicas usuais em

anatomia da madeira, nos planos transversal, longitudinal tangencial e radial, clarificados com hipoclorito de sódio 20% e corados com safranina 1% em solução alcoólica 50%, e montados em lâminas permanentes com resina sintética. Para a dissociação dos elementos celulares, foram retirados fragmentos das amostras, e se utilizou a solução de Franklin (1945). O material dissociado foi corado com safranina 1% em solução alcoólica 50% e montado em lâminas semipermanentes com glicerina 50%.

Para as descrições anatômicas, análise dos teores de nutrientes e cálculo da densidade básica da madeira, foram utilizadas porções do xilema secundário coletadas a partir do segundo anel de crescimento. A descrição qualitativa do xilema secundário baseou-se na Lista de Características Microscópicas para Identificação de Madeira (IAWA 1989). Para as análises quantitativas, foram realizadas 25 mensurações para cada indivíduo, das seguintes características: diâmetro e comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), frequência de vasos ( $.\text{mm}^2$ ), comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ), espessura da parede das fibras e dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), altura e largura dos raios ( $\mu\text{m}$ ).

As mensurações dos elementos celulares do xilema foram realizadas com o Software Image Pro-Plus® versão 4.5.029.

Tabela 1. Média e desvio padrão da altura e diâmetro, e número do coletor, dos indivíduos estudados em cada população na Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR.

Indivíduos	Cambissolo		Gleissolo	
	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Diâmetro (cm)
Média	24	27	14	17
Desvio Padrão	2,39	2,45	1,25	1,90
No. do coletor	PCarvalho 1-15		PCarvalho 16-30	

### Densidade básica do xilema secundário

A densidade específica da madeira foi determinada pelo método do Máximo Teor de Umidade (ABNT 11941 2003) que consiste na imersão de amostras com  $1\text{ cm}^3$  em água destilada, submetidas a vácuo até a saturação (peso constante). Posteriormente as amostras foram secas em estufa a  $50^\circ\text{C}$

até a obtenção da massa da matéria seca. A densidade da amostra foi obtida pela equação:

$$Db = \frac{1}{\left[ \frac{m1}{m2} \right] - 0,346}$$

onde  $db$  = densidade da madeira (g/cm<sup>3</sup>);  $m1$  = massa saturada da amostra (g);  $m2$  = massa seca (g) e 0,346 uma constante pré determinada pelas normas da ABNT 11941 (2003) para a estimativa da densidade da madeira, pelo método “Máximo Teor de Umidade”.

### **Teores nutricionais do xilema secundário**

Para a análise dos teores nutricionais do xilema foram utilizadas amostras das porções mais externas do cilindro lenhoso,, a partir do segundo anel de crescimento, de cada um dos 15 indivíduos de cada população. As amostras foram moídas em moinho do tipo Wiley e acondicionadas em recipientes plásticos identificados, e encaminhadas para determinação dos teores de macro e micronutrientes no LABINP/DSEA/UFPR. Para a digestão do xilema secundário, foram pesadas 0,5 g de cada amostra, posteriormente solubilizadas em 7 ml de ácido nítrico 1mol/L e 1 ml de peróxido de hidrogênio, e colocadas para digestão em micro-ondas a 230°C com potência de 1000w a 20 minutos. As determinações de Potássio (K) foram realizadas por fotometria de emissão. O elemento Fósforo (P) foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. Os elementos Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica segundo a metodologia de Martins e Reissmann (2007). O Nitrogênio (N) total e o Carbono (C) orgânico total foram determinados por combustão em analisador elementar da marca ELEMENTAR, modelo Vario EL II.

### Atributos químicos e físicos dos solos (Tabela 2)

Utilizou-se a caracterização química e física dos solos das áreas de estudo realizada por Cardoso et al. (2012).

Tabela 2. Médias e desvio padrão dos atributos químicos e físicos dos dois tipos de solo, Cambissolo e Gleissolo, que ocorrem nas duas áreas de estudo na Reserva Rio Cachoeira, Antonina, PR (Cardoso *et al.* 2012). Letras diferentes indicam que os valores são significativamente diferentes para  $p < 0,05$ .

.	Cambissolo	Gleissolo
pH CaCl <sub>2</sub>	4,07 ± 0,04a	4,01 ± 0,02a
Al (cmol.c/dm <sup>3</sup> )	1,67 ± 0,14a	2,15 ± 0,10b
H+Al (c.molc/dm <sup>3</sup> )	6,81 ± 0,21a	7,41 ± 0,18a
Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	2,40 ± 0,39a	0,19 ± 0,03b
Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,63 ± 0,07a	0,15 ± 0,01b
K (cmolc/dm <sup>3</sup> )	0,10 ± 0,01a	0,09 ± 0,004a
P (pp.m)	8,54 ± 0,39a	6,90 ± 0,40b
C (g/dm <sup>3</sup> )	26,07 ± 0,43a	29,53 ± 0,69b
Teor. de Argila	379,67 ± 8,0a	439,67 ± 11,3b
Teor de Silte	566,57 ± 10,1a	391,06 ± 16,0b
Teor de Areia	53,77 ± 9,9a	169,27 ± 16,6b

### Análise estatística dos atributos anatômicos do xilema secundário

Para todas as variáveis do xilema secundário foram calculados as médias e os respectivos desvios padrão. As duas áreas foram comparadas com relação aos parâmetros anatômicos utilizando-se a Análise de Variância Multivariada não-paramétrica (MANOVA; ANDERSON 2001) com distância euclidiana dos dados morfométricos previamente padronizados pelo desvio padrão. Para visualizar as diferenças, utilizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA; MARDIA 1979). As análises foram realizadas no software livre R (R CORE TEAM, 2012) com o pacote Vegan (OKSANEN *et al.*, 2012). Os gráficos foram confeccionados no software STATISTICA 7.1 (STATSOFT 2005).

### **Análise dos teores de nutrientes com relação aos atributos anatômicos do xilema secundário**

Para os teores nutricionais do xilema secundário em relação aos atributos anatômicos, foram calculados as médias e os respectivos desvios padrão de todas as variáveis. Posteriormente os valores foram comparados utilizando a Análise de Variância Multivariada não-paramétrica (MANOVA; ANDERSON 2001) com distância euclidiana dos dados morfométricos previamente padronizados pelo desvio padrão. Para visualizar as diferenças, utilizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA; MARDIA 1979). Para demonstrar que as variáveis anatômicas estão significativamente associadas com as variáveis de nutrientes e identificar quais aquelas que maximizaram entre as árvores nos dois tipos de solos foi aplicado o teste de Mantel. Para visualizar as associações entre as variáveis, foi realizada uma análise de redundância (RDA), que sumariza tanto as variáveis anatômicas quanto as variáveis nutricionais em uma mesma ordenação. As análises foram realizadas no software livre R (R Core Team, 2012) com o pacote Vegan (OKSANEN *et al.*, 2012). Os gráficos foram confeccionados no software STATISTICA 7.1 (STATSOFT 2005).

### **Resultados**

Descrição anatômica do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas duas áreas de estudo. Os dados quantitativos seguem na Tabela 3.

**Camada de Crescimento:** presentes, caracterizadas por anel semi-poroso e uma camada de fibras com paredes mais espessas achatadas radialmente. O anel semi-poroso é mais evidente nos indivíduos que ocorrem no Gleissolo (Figs. 2 e 3).

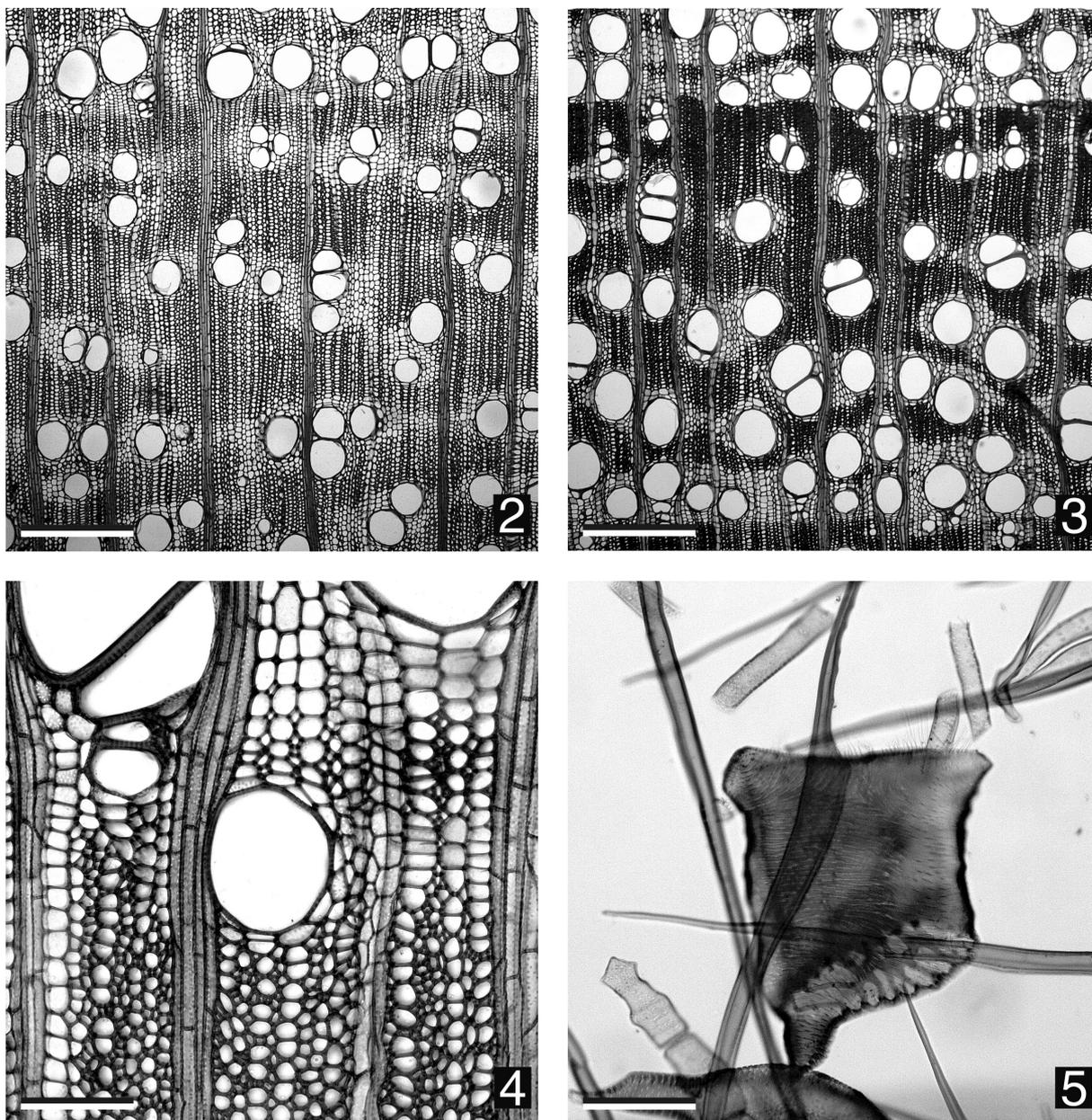
**Elementos de vasos:** Os elementos de vaso possuem placas de perfuração simples e reticulada (Fig. 5); apêndices podem estar presentes nas extremidades dos elementos de vaso; pontoações areoladas, alternas (Fig. 7).

**Fibras:** com pontoações simples a areoladas diminutas; algumas fibras septadas presentes (Figs. 5 e 8).

**Parênquima axial:** Parênquima paratraqueal confluyente formando faixas no lenho inicial, passando para trechos longos a trechos curtos, seguido por

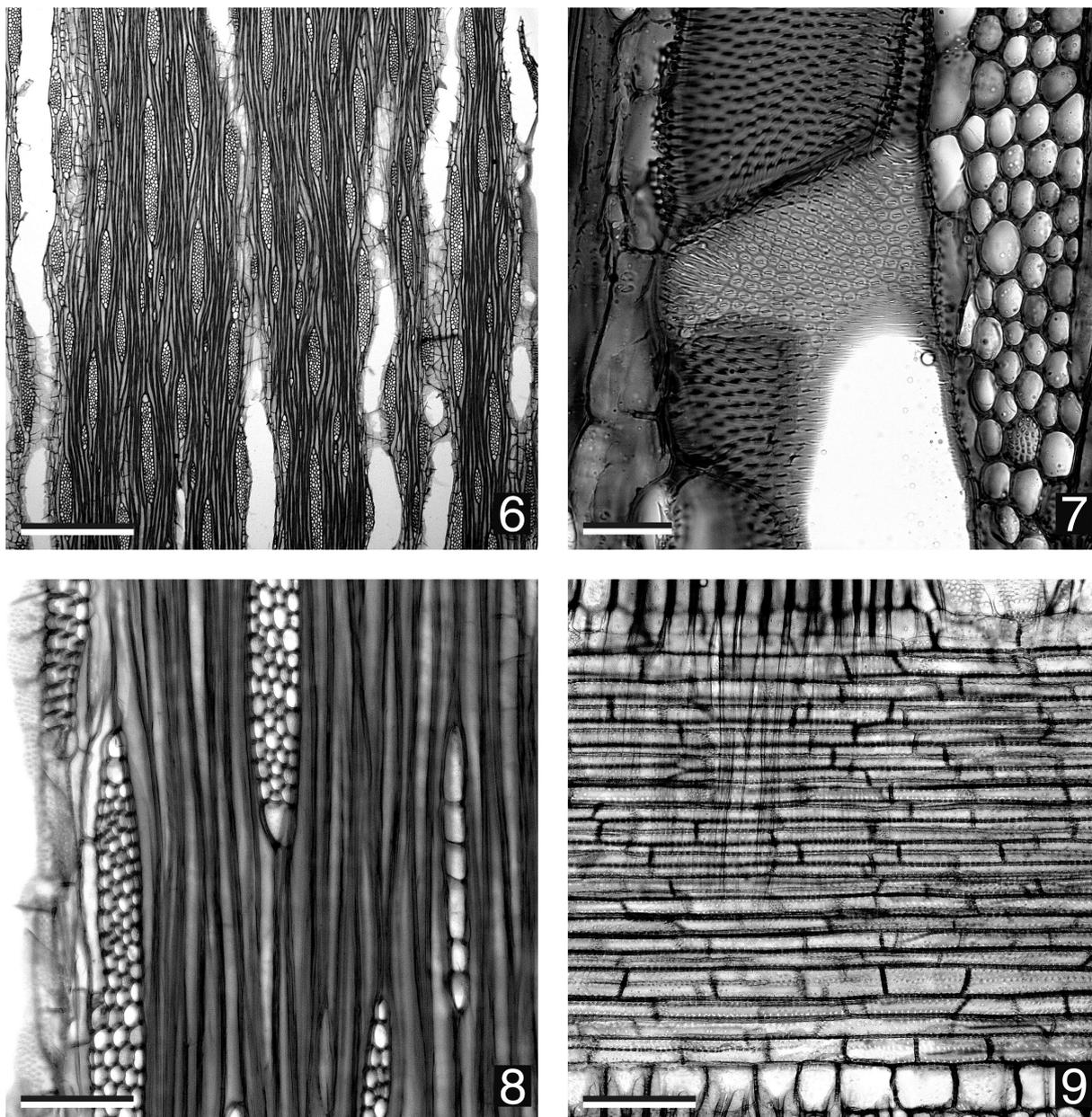
parênquima aliforme no lenho tardio (Fi.gs. 2 e 3). Séries parenquimáticas compostas por 6-8 células.

**Raio:** uni e multisseriados, heterogêneos, com o corpo formado por células procumbentes e as margens por células quadradas e eretas (Figs. 6-9).



**Figuras 2 a 5.** Anatomia do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum*. Figs. 2 a 4. Secções transversais. Fig. 2. Indivíduo do Cambissolo. Vasos com arranjo difuso. Fig. 3. Indivíduo do Gleissolo. Vasos formando anel semi poroso. Fig. 4. Detalhe da camada de crescimento, demarcada por faixa de fibras com paredes mais espessadas. Fig. 5. Material dissociado. Elemento de

vaso com placa de perfuração reticulada, fibras. Barras de escala: 2, 3= 500  $\mu\text{m}$ ; 4, 5 = 100  $\mu\text{m}$ .



**Figuras 6 a 9.** Anatomia do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum*. Figs. 6 a 8. Secções longitudinais tangenciais. Fig. 6. Raios. Fig. 7. Detalhe de um vaso. Note as pontoações areoladas, alternas. Fig. 8. Fibras septadas. Fig. 9. Secção longitudinal radial. Raio heterogêneo, com corpo formado por células procumbentes, e margens por células quadradas a eretas. Barras de escala: 6 = 500  $\mu\text{m}$ ; 7 = 250  $\mu\text{m}$ ; 8, 9 = 100  $\mu\text{m}$ .

Tabela 3: Média, desvio padrão e valores mínimo e máximo (entre parênteses) dos atributos do xilema secundário mensurados e valores da densidade básica da madeira com a sua Média e desvio padrão para cada área estudada (15 indivíduos por área).

Características	Cambissolo	Gleissolo
Diâmetro do vaso ( $\mu\text{m}$ )	187,46 $\pm$ 100,03 (127,24-208,81)	194,44 $\pm$ 57,76 (85,96-171,6 )
Comprimento dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	359,51 $\pm$ 68,29 (173,88-399,93)	287,65 $\pm$ 110,90 (153,39-469,04)
Frequência dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	9,54 $\pm$ 0,83 (5-20)	13,85 $\pm$ 1,66 (4-31)
Espessura da parede dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ )	8,13 $\pm$ 1,18 (4,19-10,27)	9,49 $\pm$ 1,70 (1,85-19,00)
Comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ )	646,40 $\pm$ 110,75 (103,65-979,09)	796,35 $\pm$ 76,50 (494,41-1,277)
Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ )	6,98 $\pm$ 0,49 (2,79-10,69)	6,31 $\pm$ 1,42 (0,94-14,52)
Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	47,49 $\pm$ 2,57 (42,73-65,8)	49,95 $\pm$ 3,44 (23,98-61,25)
Frequência dos raios ( $\mu\text{m}$ )	5,95 $\pm$ 0,21 (3-13)	6,21 $\pm$ 0,17 (3-9)
Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	300,73 $\pm$ 22,60 (218,95-651,66)	299,42 $\pm$ 24,29 (128,61-538,85)
Densidade básica da madeira (g. $\text{cm}^3$ )	0,47 2,75 $\pm$ 0,32 (2,20-2,97)	0,40 2,49 $\pm$ 0,28 (2,88-2,20)

### **Comparação dos atributos anatômicos quantitativos do xilema secundário entre as duas populações**

Seguem abaixo os resultados da análise comparativa dos atributos anatômicos quantitativos do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas duas áreas de estudo (Tabela 4 e Figura 10) utilizando a análise de Variância Multivariada não-paramétrica (MANOVA; Anderson 2001) com

distância euclidiana dos dados morfométricos previamente padronizados pelo desvio padrão.

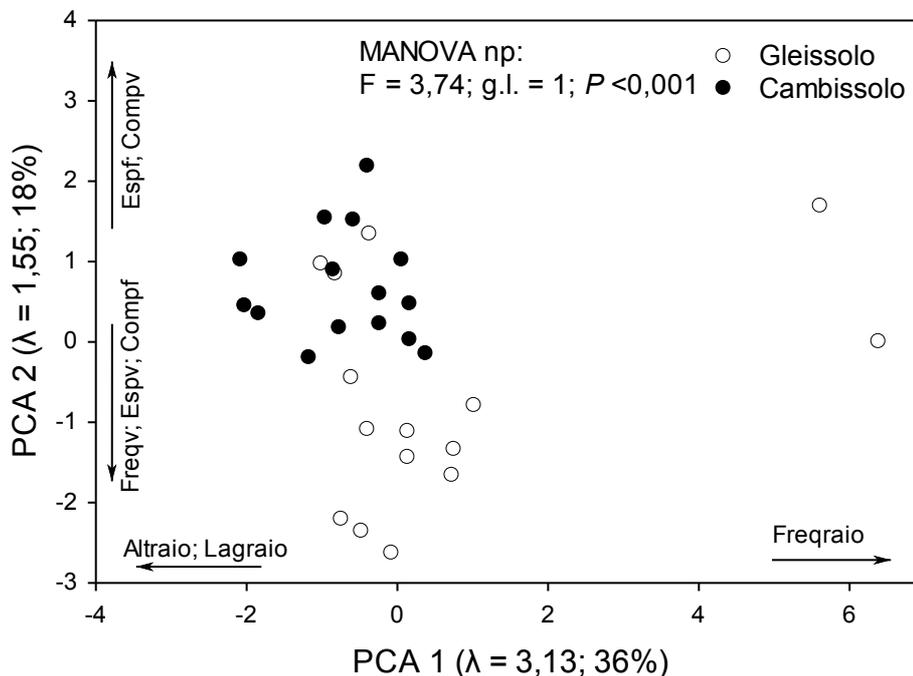


Figura 10. Análise de Componentes Principais utilizando a análise de variância multivariada não paramétrica dos parâmetros quantitativos do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas duas áreas de estudo. Altraio = altura do raio; Compf = comprimento da fibra; Compv = comprimento do vaso; Espf = espessura da fibra; Espv = espessura de vaso; Freqraio = frequência de raio; Freqv = frequência de vaso; Lagraio = largura do raio.

A análise dos dados quantitativos dos atributos anatômicos do xilema secundário através da Análise de Variância Multivariada não-paramétrica (MANOVA; Anderson 2001) e da Análise de Componentes Principais (PCA; Mardia 1979) mostrou que a população de *C. myrianthum* que ocorre na área de Gleissolo apresentou os maiores valores de frequência de vaso, espessura da parede dos elementos de vaso e comprimento da fibra; e os menores valores de comprimento dos elementos de vaso e espessura da parede das fibras em relação à população do Cambissolo (Fig. 10). Os dois primeiros eixos da PCA sumarizaram aproximadamente 54% da variação dos dados originais. A influência de cada variável para os dois primeiros eixos (“loadings”) estão

mostrados na Tabela 4. Também é possível observar, que a variação entre os dados quantitativos é maior na população do Gleissolo (Fig. 10).

Tabela 4. “Loadings” da análise de componentes principais mostrando a influência de cada variável em relação aos dois primeiros eixos da ordenação.

Variável morfométrica	PCA 1	PCA 2
Diâmetro de vaso	-0.20	-0.42
Comprimento de vaso	-0.43	0.30
Frequência de vaso	0.21	-0.61
Espessura de vaso	-0.58	-0.27
Comprimento de fibra	-0.34	-0.46
Espessura de fibra	0.11	0.63
Altura de raio	-0.51	-0.13
Frequência de raio	0.32	-0.23
Largura de raio	-0.48	0.00

Seguem abaixo os resultados quantitativos para os teores nutricionais do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas duas áreas de estudo (Tab. 5). A análise MANOVA mostrou que o xilema secundários dos indivíduos do Gleissolo apresentam diferenças nutricionais quando comparados com os indivíduos do Cambissolo ( $F = 17978$ , g.l. = 1;  $P < 0.001$ ). Tais diferenças também são visualizada pela Análise de Componentes Principais (PCA) (Fig. 11). Nesse caso, o xilema secundário dos indivíduos do Cambissolo apresentaram as maiores porcentagens de C e N, enquanto aqueles do Gleissolo apresentaram os maiores teores de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn).

Tabela 5. Média e desvio padrão dos teores de macro e micronutrientes das amostras de madeira de 15 indivíduos por população, Cambissolo e Gleissolo, na Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR.

CAMBISOLO										
	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn	N %	C %
Media	1,83	2,96	5,69	2,28	10,57	4,77	25,10	48,16	0,36	44,23
Dpadrão	0,28	0,98	2,36	0,66	1,71	1,95	7,76	23,41	0,08	1,11
GLEISOLO										
	g/kg.....				mg/kg.....					
Media	2,45	5,92	6,80	5,03	37,39	31,49	148,65	212,61	0,25	43,80
Dpadrão	0,52	1,64	1,44	1,48	11,44	14,33	76,06	33,49	0,04	3,09

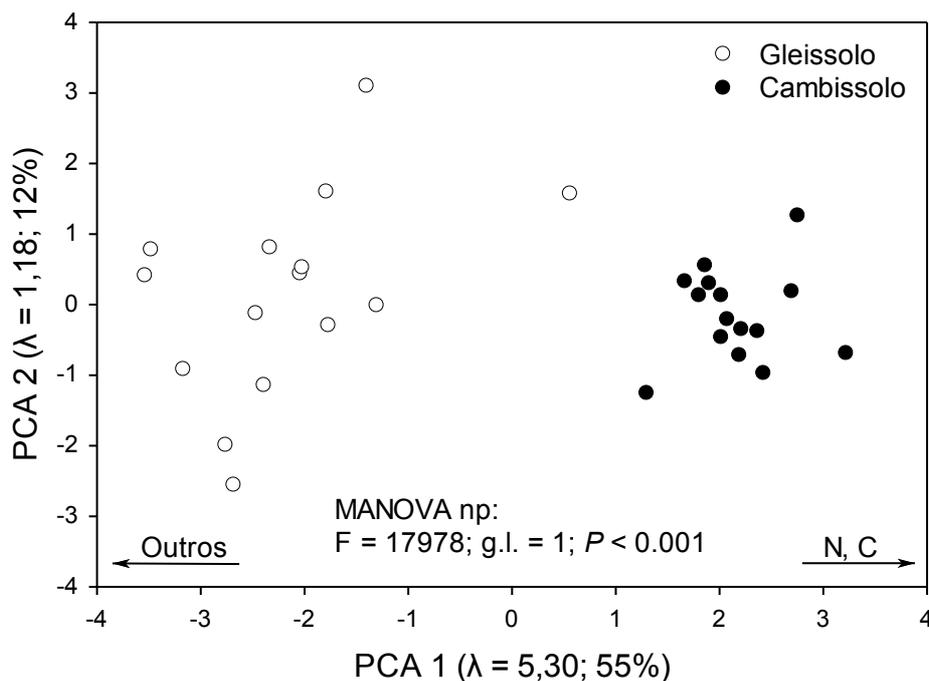


Figura 11. Análise de componentes principais (PCA) mostrando as diferenças entre os teores nutricionais do xilema secundário de *Citharexylum myrianthum* nas áreas de Cambissolo e Gleissolo. Somente o primeiro eixo da PCA é interpretável segundo o critério de Broken-Stick. N = porcentagem de Nitrogênio; C = porcentagem de Carbono; Outros = Fósforo (P) (g/kg), Potássio (K) (g/kg), Cálcio (Ca) (g/kg), Magnésio (Mg) (g/kg), Cobre (Cu) (mg/kg), Manganês (Mn) (mg/kg), Ferro (Fe) (mg/kg) e Zinco (Zn) (mg/kg).

As análises demonstraram que as variáveis anatômicas estão significativamente associadas com as variáveis de nutrientes, de acordo com um teste de Mantel ( $r = 0,22$ ;  $P = 0,013$ ). Porém, as variáveis que maximizaram as diferenças anatômicas entre árvores que crescem nos dois tipos de solo analisados são: K, Cu e Mn (com maiores valores para os indivíduos do Gleissolo); N e C (com maiores valores para os indivíduos do Cambissolo). Neste caso, tais variáveis afetaram principalmente a frequência dos vasos e a espessura da parede dos vasos (com maiores valores para os indivíduos do Gleissolo); a largura dos raios apresentou os maiores valores para os indivíduos do Cambissolo (Fig. 12). Estes resultados foram baseados em uma análise que maximiza a correlação entre as duas matrizes de dados (nesse caso variáveis anatômicas e nutrientes da madeira dos indivíduos crescendo em dois tipos de solo) (CLARKE E AINSWORTH 1993).

Essas interpretações e outras possíveis associações entre as variáveis também podem ser visualizadas com uma análise de redundância (RDA), que sumariza tanto as variáveis anatômicas quanto as variáveis de nutrientes em uma mesma ordenação. Tal ordenação maximiza a correlação desses conjuntos de variáveis e, nesse caso, 51% das variáveis anatômicas puderam ser relacionadas com as variáveis de nutrientes (Fig. 12).

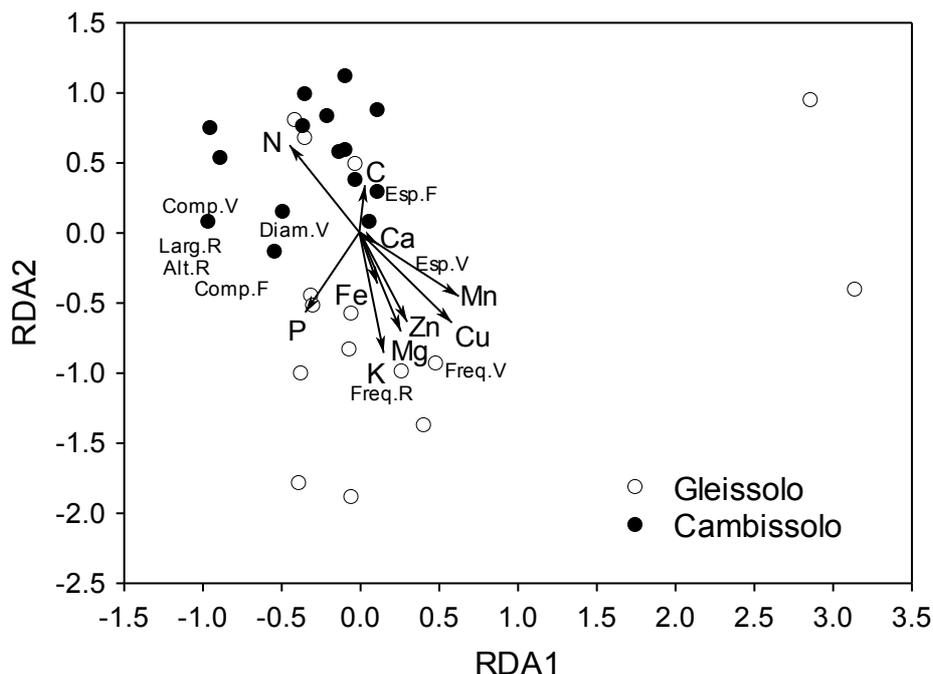


Figura 12. Análise de redundância (RDA) mostrando a relação entre variáveis anatômicas e de nutrientes dos indivíduos de *Citharexylum myrianthum* que crescem em área de Cambissolo e Gleissolo. Nutrientes: N = porcentagem de Nitrogênio; C = porcentagem de Carbono; Outros = Fósforo (P) (g/kg), Potássio (K) (g/kg), Cálcio (Ca) (g/kg), Magnésio (Mg) (g/kg), Cobre (Cu) (mg/kg), Manganês (Mn) (mg/kg), Ferro (Fe) (mg/kg) e Zinco (Zn) (mg/kg). Variáveis anatômicas: Alt.R = altura de raio ( $\mu\text{m}$ ), Larg. R= largura do raio ( $\mu\text{m}$ ), Comp. F= comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ), Comp. V= comprimento do vaso ( $\mu\text{m}$ ), Esp. F= Espessura da parede da Fibra ( $\mu\text{m}$ ), Esp. V= Espessura da parede do vaso ( $\mu\text{m}$ ), Diam. V= Diâmetro do vaso ( $\mu\text{m}$ ), Freq. R= Frequência do Raio ( $\text{mm}^2$ ), Freq. V= frequência do vaso ( $\text{mm}^2$ ).

## Discussão

As características anatômicas qualitativas do xilema secundário observadas nos indivíduos de *Citharexylum myrianthum*, nos dois tipos de solo estudados, estão de acordo com as características relacionadas na literatura (MARCATI 2000; CALLADO *et al.*, 2001; BARROS *et al.*, 2006). As análises estatísticas demonstraram que as populações podem ser individualizadas quanto às variáveis anatômicas e teores de nutrientes, e que as variáveis anatômicas estão associadas às variáveis nutricionais.

Em ambas as populações foram observadas camadas de crescimento, demarcadas por uma faixa de fibras com paredes mais espessas, achatadas radialmente. Camadas de crescimento são relatadas para muitas espécies tropicais e subtropicais (ALVES & ANGYALOSSY 2000; CALLADO *et al.*, 2006; LUCHI 2004; MARCATI *et al.*, 2005, 2008). ALVES & ANGYALOSSY (2000) observaram a presença de anéis de crescimento em 48% das 491 espécies estudadas em diferentes regiões brasileiras. Nas descrições anatômicas da espécie, descreve-se a presença de anel semi-poroso em *C. myrianthum* (MARCATI 2000; CALLADO *et al.*, 2006; BARROS *et al.*, 2006). Entretanto, no presente estudo, esta característica só foi observada nos indivíduos do Gleissolo, enquanto os indivíduos do Cambissolo apresentaram anel semi-poroso pouco distinto ou mesmo indistinto.

Nota-se que a presença do anel semi-poroso em *C. myrianthum*, descrita na literatura, está relacionada a ambientes onde há sazonalidade: MARCATI (2000) descreve a presença desta característica para indivíduos de cerrado, onde ocorrem estações secas bem demarcadas; CALLADO *et al.*, (2006) E BARROS *et al.*, (2006) observaram anel poroso e semi-poroso em indivíduos de Mata Atlântica, em uma formação sujeita a alagamentos e com períodos de baixa pluviosidade.

BISSING (1976, 1982) *apud* CARLQUIST (2001) comparou a anatomia da madeira de espécies nativas cultivadas em um Jardim Botânico (ambiente méxico) e em uma área natural (ambiente mais xérico), verificando que na área com maior disponibilidade hídrica a planta tende a diminuir a porosidade, que torna-se difusa, quando comparado com a área de ocorrência natural. CALLADO *et al.*, (2006) mostrou que algumas espécies de Euphorbiaceae tendem a apresentar anéis de crescimento indistintos ou mal definidos em

áreas permanentemente inundadas e anéis de crescimento bem definidos em regiões periodicamente alagadas, indicando que as características das camadas de crescimento podem ser correlacionadas aos fatores hídricos.

Os indivíduos de *C. myriathum* que ocorrem no Gleissolo estão sujeitos a estresses periódicos (alagamento), o que gera um estresse fisiológico, causando uma diminuição na absorção de água pela planta afetando, desta maneira, a atividade do câmbio vascular (WORBES 1995). Assim sendo, isto provavelmente ocasiona a formação de elementos de vasos progressivamente mais estreitos no lenho tardio, gerando a formação do anel semi-poroso. Esta situação não ocorre na população do Cambissolo pois nessa área o solo é bem drenado, além de rico em nutrientes. Cumpre ressaltar que as áreas de estudo não estão sujeitas a períodos de déficit hídrico.

A presença de anel semi-poroso distinto nos indivíduos do Gleissolo, em contraposição aos indivíduos do Cambissolo, também pode ser relacionada à maior concentração de K na madeira destes indivíduos, como demonstrado por BARRELET *et al.*, (2006), que constataram no estudo do xilema secundário de *Piceas abies* um acúmulo de Potássio no lenho tardio, correlacionando com a sua formação.

À análise de Variância Multivariada não-paramétrica juntamente com a análise de Componentes Principais mostraram algumas diferenças quantitativas entre as populações estudadas, como maiores valores para frequência de vaso, espessura da parede do vaso e comprimento da fibra para os indivíduos do Gleissolo, e maiores valores de comprimento de vaso e espessura da parede de fibra do xilema para os indivíduos do Cambissolo. Além disso, o cálculo de densidade da madeira demonstrou que os indivíduos de Cambissolo apresentaram uma densidade maior do que os do Gleissolo.

Segundo as tendências ecológicas gerais descritas para o xilema secundário propostas por BAAS *et al.*, (1983), BAAS & SCHWEINGRUBER (1987) e CARLQUIST (2001), em ambientes xéricos as espécies tendem a apresentar uma frequência maior de vasos com menor diâmetro enquanto espécies de ambientes méxicos apresentam menor frequência de vasos com maior diâmetro. Neste estudo os resultados para diâmetro de vaso não foram significativos entre as duas populações estudadas, porém, a frequência de vasos foi maior nos indivíduos do Gleissolo, indicando uma maior condução de

água pelo lenho. Os resultados assemelham-se ao reportado por LUCHI (2004) e COSMO (2008), que observaram uma maior frequência de vasos nos indivíduos que ocorrem em áreas alagadas, respectivamente em *Croton urucurana* e *Sebastiania commersoniana*. Os resultados indicam que as plantas do Gleissolo estão investindo mais em condução devido à maior disponibilidade hídrica, pelo menos no início do período de alagamento, antes de ocorrer a saturação devido à pouca drenagem deste tipo de solo. Paralelo a isso, como uma maneira de se proteger contra a cavitação, a planta tende a aumentar a espessura da parede do vaso e diminuir o comprimento dos mesmos (JACOBSEN *et al.*, 2005; CARQUIST, 2001). Os testes demonstram que a concentração de K, Cu e Mn para os indivíduos do Gleissolo estão correlacionadas à maior frequência de vasos e à maior espessura da parede dos vasos.

No Cambissolo as plantas apresentaram maiores valores de comprimento de vaso, espessura da parede da fibra e maior densidade da madeira. Segundo BAAS & SCHWEINGRUBER (1987) E CARLQUIST (2001), em ambientes méxicos, os elementos de vaso tendem ser mais longos, mais eficientes na condução de maiores quantidades de água, porém mais propensos à cavitação (HACKE *et al.*, 2006). Entretanto a maior espessura da parede das fibras também é uma estratégia associada à condução, pois garante maior suporte aos vasos, sujeitos a altas pressões negativas, evitando a cavitação (HACKE *et al.*, 2001; CARLQUIST 2001; JACOBSEN *et al.*, 2005). Aliado a isso, fibras com paredes mais espessas estão relacionadas a uma maior resistência mecânica e densidade da madeira. Os indivíduos encontrados no Cambissolo apresentaram um maior porte, o que também pode ser relacionado à maior espessura da parede das fibras e à maior densidade da madeira observada para esta população quando comparado aos indivíduos do Gleissolo na mesma área.

O maior comprimento das fibras dos indivíduos do Gleissolo corroboram com os dados encontrados por diversos autores e podem indicar que há uma relação entre disponibilidade hídrica e comprimento das fibras. LONGUI *et al.*, (2009) compararam o lenho de *Piptadenia gonoacantha* em duas formações florestais, e encontraram os maiores comprimentos de fibra para o ambiente onde ocorre maior precipitação; BOSIO *et al.*, (2010) estudaram a anatomia da

madeira de *Miconia sellowiana* em três tipos de vegetação, e encontraram maiores comprimento das fibras para as áreas com maiores disponibilidade de água e LUCHI (2004), em estudo com *Croton urucurana* em três solos com diferentes níveis de umidade, encontraram maiores valores de comprimento das fibras para a área mais alagada.

Por outro lado, MELO JUNIOR *et al.*, (2011) estudaram o xilema secundário de *Copaifera langsdorffi* em três áreas e atribuíram o maior comprimento das fibras ao maior tamanho das árvores que ocorrem em ambiente com solo mais rico em nutrientes. Embora possa ocorrer uma correlação entre o tamanho do indivíduo e o comprimento dos elementos axiais em algumas espécies (CARLQUIST 2001), no presente estudo, o maior comprimento das fibras observado nos indivíduos do Gleissolo não pode ser correlacionado ao maior tamanho dos indivíduos, pois neste ambiente as plantas apresentaram as menores alturas.

A população do Gleissolo apresentou uma maior variação entre os dados quantitativos, fato também observado por COSMO (2008) em indivíduos de *Sebastiania commersoniana* que ocorrem em um tipo de Gleissolo, o que o autor atribuiu às maiores variações do regime hídrico a que estas populações estão sujeitas, o que também se aplica à área de estudo do presente trabalho.

À análise de MANOVA e a análise de Componentes Principais mostraram que os teores nutricionais do xilema secundário nas duas populações diferem entre os dois tipos de solo, sendo que nos indivíduos do Gleissolo foram encontrados os maiores teores para vários nutrientes, enquanto no Cambissolo foram encontrados maiores teores apenas para nitrogênio (N) e carbono (C). CARDOSO *et al.*, (2012) encontraram teores de nutrientes para estes dois solos na mesma área de estudo, em geral, menores para o Gleissolo do que para o Cambissolo quanto ao P, Ca e Mg. Estes resultados podem indicar que os indivíduos do Gleissolo acabam acumulando mais nutrientes na madeira, embora seja este solo um pouco mais pobre do que o Cambissolo. Também corroborando com os presentes resultados, um estudo desenvolvido em uma área de Floresta Atlântica com solos de constituição semelhante aos do presente estudo, SCHEER *et al.*, (2011) encontraram teores de nutrientes no conteúdo de serapilheira de C.

*myrianthum* semelhantes aos aqui encontrados na madeira, com uma destacada concentração de Mn e Fe no Gleissolo.

Um dos fatores que pode estar influenciando nas diferenças observadas no lenho das populações de *C. myrianthum* nos dois tipos de solo é a disponibilidade hídrica. Os maiores teores de nutrientes encontrados nos indivíduos do Gleissolo podem ser entendidos considerando-se a maior disponibilidade de água nesta área devido ao lençol freático ser mais raso e as características deste solo favorecerem o alagamento, o que num primeiro momento disponibiliza mais facilmente alguns destes nutrientes para a planta, que se acumulam no xilema secundário. O mesmo não acontece com as plantas do Cambissolo, já que o solo é mais profundo, e apresenta boa drenagem. Além disso, de acordo com CARDOSO *et al.*, (2012), em estudo realizado na mesma área, na população do Gleissolo a fenofase de perda de folhas ocorre antes e é mais intensa do que na população do Cambissolo, o que corrobora no entendimento do maior acúmulo de nutrientes nos indivíduos do Gleissolo do que nos do Cambissolo, pois a corrente transpiratória vai aumentar a translocação nutricional (NORD & LYNCH 2009), logo a absorção na população do Cambissolo se prolonga, não resultando no acúmulo dos nutrientes na madeira.

A maior concentração dos íons de Cu, Mn e Fe é típica em espécies que ocorrem em áreas de alagada, e o próprio alagamento afeta o potencial redox destes elementos, fazendo com que assumam a forma reduzida, e deste modo estes se tornam mais disponíveis para serem absorvidos pela planta (FOELKEL & ASSIS 1995). Por outro lado a ocorrência destes íons em altas concentrações é tóxica para a planta e afeta os níveis de clorofila (NENOVA 2006), causando uma diminuição da atividade fotossintética e consequentemente diminuindo o crescimento da planta (FOELKEL & ASSIS 1995). Possivelmente isto é uma das causas para o menor crescimento dos indivíduos que ocorrem no Gleissolo, que apresentam menor porte quando comparados aos indivíduos do Cambissolo.

O xilema secundário da população do Cambissolo apresentou os maiores valores de N quando comparadas com as plantas do Gleissolo, o que foi correlacionado à variável anatômica largura dos raios pelos testes estatísticos. Sendo uma das funções dos raios no xilema secundário o

armazenamento de substâncias, a maior quantidade de N pode ser relacionada à maior largura dos raios observada na população do Cambissolo. O teor de N na planta também é um fator que influencia na densidade da madeira (BEETS *et al.*, 2001), como observado nos resultados do presente estudo, e as diferenças nas densidades obtidas para a madeira do Cambissolo (maiores) e Gleissolo (menores) podem ser associadas a isso. Para a folha.

Os resultados permitem concluir que a espécie *C. myrianthum* responde distintamente às condições características de cada tipo de solo, e que o xilema secundário demonstra e estas diferenças anatomicamente e quanto aos teores de nutrientes.

### Referências bibliográficas

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Madeira - Determinação da densidade básica. Comissão de estudo de madeira para fabricação de pasta celulósica, NBR 11941, 2003.
- Alves, E. S.; Angyalossy – Alfonso, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, v. 20, n. 1, p. 3–30, 2000.
- Alves, E. S.; Angyalossy – Alfonso, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, n. 4, p. 23: 391–418, 2002.
- Alves, E. W; Pescador, R; Sturmer, S. L; Uhlmann, A. Germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae) em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 741-743, 2007.
- Anderson, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, v. 26, p. 32–46, 2001.
- Antony, F; Joran, L; Schimleck, L. R; Daniels. R. F; Clark III A. The effect of mid-rotation fertilization on the wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda*). **Iawa journal**, v. 30, n. 1, p. 49- 58, 2009.
- Baas, P.; Schweingruber, F. H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. **IAWA Bulletin**, v. 8, p. 245–274, 1987.
- Baas, P.; Werker, E.; Fahn A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin**, n. 4, p. 141-159, 1983.

- Barajas - Morales, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin**, v. 6, n. 4, p. 355-364, 1985.
- Barrelet, T; Ulrich, A; Rennernberg, H; Krähenbühl, U. Seasonal profiles of Sulphur, Phosphorus, and Potassium in Norway spruce wood, **Plant Biology**, v. 8, p. 462- 469, 2006.
- Barros, C. F; Marcon-Ferreira, M. S; Callado, C. H; Lima, H. R. P; Cunha, M; Marquete. O. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57 n. 3, p. 443- 460, 2006.
- Beets, P. N; Gilchrist, K; Jeffreys, M. P. Wood density, of radiate pine: effect of nitrogen supply. **Forest ecology and Management**, v. 145, p. 173- 180, 2001.
- Borchert, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, v. 75: 1437–1449, 1994.
- Bosio, F.; Soffiatti, P.; Boeger, M. R. T. Ecological wood anatomy of *Miconia sellowiana* (dc.) Naudin (Melastomataceae) in three vegetation types of Paraná state, Brazil. **IAWA Journal**, v. 31, n. 2, p. 179-190, 2010.
- Callado, C. H; Neto, S. J. S; Scarano, F. R; Barrow, C. F; Costa, C. G. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Iawa Journal**, v. 22, n. 1, p. 29-42, 2001.
- Cardoso, F. C. G; Marques, R; Botosso, P. V; Marques, M. C. M. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant soil**, v.281p. 354- 269, 2012
- Carvalho, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Embrapa Informações Tecnológica, Brasília, 2003.
- Carquist, S.; Hoekman, D. A. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. **IAWA Bulletin**, v. 6, n. 4, p. 319- 347, 1985
- Carquist, S. Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Berlin. **Springer-Verlag**, 2001.

- Clarke, K. R & Ainsworth, M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. **Marine Ecology Progress Series**, v. 92, p. 205–219, 1993.
- Cosmo, N. S. Anatomia ecológica e crescimento do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Bailon) Smith & Downs, em diferentes condições geomorfológicas e pedológicas da planície do rio Iguaçu –PR Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) –Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2008.
- Domínguez, M. T., Aponte, C., Pérez-Ramos, I. M., García, L. V., Villar, R. & Marañón, T. Relationships between leaf morphological traits, nutrient concentrations and isotopic signatures for Mediterranean woody plant species and communities. **Plant Soil**, v. 357, p. 407–424, 2012
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Rio de Janeiro, 1999.
- Franklin, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood – resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 51, p. 392. 155, 1945.
- Gomes, A. V; Teixeira, L. L; Schaitza, E. G; Hofmeister, R. M. Perforation plates in vessel of *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae). **IAWA Bulletin**, v.10, n. 1, p. 27-34, 1989.
- Hacke, W. G; Sperry, J. S; Pockman, W. T; Davis, S. D; Mcculloh, A. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia**, v. 461, p. 126-457, 2001.
- Hacke, U. G; Sperry, J. S; Wheller, J. K; Castro, L. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. **Tree Physiology**, v. 26, p. 686-701, 2006.
- Formm, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. **Tree Physiology**, v. 30: 1140- 1147, 2010.
- Foelkel, C; Assis, T. F. New pulping technology and *Eucalyptus* wood: The Role of Soil fertility, plant nutrition and wood Ion content. Industry Requirements for Quality and Quantity of fibre. **Iufro, Hobart**, v.1, p. 10-13, 1995

- IAWA Committee. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- Lautner, S; Windeisen, E; Fromm, J. The effect old calcium nutrition on wood formation in poplar. 69-76, 2006.
- Jacobsen, A. L; Ewrs, F. W; Pratt, B; Paddock III, W. A; Davis, S. D. Do xylem fibers affect vessel cavitation resistance? **Plant Physiol**, v. 139, 2005.
- Kostiainen, K., Kaakinen, S., Saranpaa, P., Sigurdsson, B. D., Linder, S. & Vapaavuori, E. Effect of elevated [CO<sub>2</sub>] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. **Global Change Biology**, v. 10, p, 1526–1538, 2004.
- Longui, E. L; Bufolo, A; Aguiar, O. T; Lima, I. L; Florsheim, S. M. B. Anatomia comparada do lenho de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F Macbr. em dois tipos de vegetação. **Hoehnea**, v. 36, n. 4, p. 715-724, 2009.
- Luchi, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 2, p. 271-280, 2004.
- Machado, L. O. M; Rosa, G. A. B. 2005. Frugivoria por aves em *Citharexylum myrianthum* Cham.6, (Verbenaceae) em área de pastagens de Campinas SP. **Ararajuba**, v. 13, n. 1, p. 113- 115, 2005
- Marcati, C. R; Angyalossy, V. Seasonal presence of acicular calcium oxalate crystals in the cambial zone of *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae). **IAWA Journal**, v. 26, n. 1, p. 93- 94, 2005.
- Marcati, C. R.; Milanez, C. R. D. Machado, S. R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolbium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). **Trees**, v. 22, p. 3-12, 2008.
- Mardia, K. V., J. T. Kent and J. M. Bibby. Multivariate Analysis, London: Academic Press, 1979.
- Martins, A. P. L.; Reissmann, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.
- Melo-Junior, J. C. F; Ceccantini, G; Bona, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffi* Dsf. (leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. **Iheringia, série. Botânica**, v. 66, n. 2, p. 186-200, 2011.

- Metcalf, C.R; Chalk. L. **Anatomy of the Dicotyledone**: Leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. Oxford, 1950.
- Moraes, L. A. C; Moraes, V. H. F; Moreira, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesq. Agropecuária brasileira**, v. 37: 1431-1436, 2002.
- Nenova, V. Effect of iron supply on growth and photosystem efficiency of pea plants. *Plant physiology*, **Issue Special**, p. 81-90, 2006.
- Niinemets, U. & Kull, K. Leaf structure vs. nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. **Acta Oecologica**, v. 24, p. 209–219, 2003.
- Nord, E. A. & Lynch, J. P. Plant phenology: a critical controller of soil resource acquisition. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 1927–1937, 2009.
- Noshiro, S; Ikeda, H; Joshi, L. Distinct altitudinal trends in the wood structure of *Rhododendron arboreum* (Ericaceae) in Nepal. **Iawa Journal**, v. 31, n. 4, p. 443- 456, 2010.
- Nord, E.A; Lynch, J. P. Plant phenology: a critical controller of soil resource acquisition. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 1927- 1937, 2009.
- Nordin, A; Uggl, C. Aäsholm, T; Nitrogen forms in Bark, wood and foliage of nitrogen- fertilized *Pinus sylvestris*. **Tree Physiology**, v. 64, p. 21- 59, 2001
- Ohtani, J; Jing, W; Fukazawa, K; Shão qun, X. Multiple perforation plates in *Gmelina aborea* Roxb. (Verbaseae). **IAWA Bulletin**, v. 10, p. 35-41, 1989.
- Rigatto, P. A; Dedecek, R. A; Matos, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose Kraft. **R. Árvore**, v. 28, p. 267-273, 2004
- Salimena, F. R. G., Thode, V., Mulgura, M., O'leary, N., França, F., Silva, T.R.S. *Verbenaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2012.
- Scheer, Maurício Bergamini, Gustavo Gatti & Celina Wisniewski. Nutrient fluxes in litterfall of a secondary successional alluvial rain forest in Southern Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 59, n.4, p. 1869-1882, 2011.

Worbes, M. How to measure growth dynamics in tropical trees a review, **Iawa Journal**, v. 16, n. 4, p. 337- 351, 1995.

Wright, I. J., Westoby, M. & Reich, P. B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span. **Journal of Ecology**, v. 90, p. 534–543, 2002.

