Ricardo Henrique Cardim

Dendrocronologia e anatomia funcional do xilema ativo de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Dendrochronology and functional anatomy of the active xylem of *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Orientador: Gregório Ceccantini

São Paulo

2012

Ricardo Henrique Cardim

Dendrocronologia e anatomia funcional do xilema ativo de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Dendrochronology and functional anatomy of the active xylem of *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Botânica.

Orientador:

Prof. Dr. Gregório Ceccantini

São Paulo

2012

Cardim, Ricardo Henrique

Dendrocronologia e anatomia funcional do xilema ativo de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

81 páginas

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica.

1. Dendrocronologia 2. *Podocarpus lambertii* 3. Xilema ativo I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Botânica.

Comissão Julgadora

_____ _____

Prof(a). Dr(a). Prof(a). Dr(a).

_____

Prof. Dr. Gregório Ceccantini

Orientador

Dedico esta dissertação à minha família, Izabel Skaff e Alessandra Caiado.

Agradecimentos

Agradeço especialmente ao meu Orientador, Gregório Ceccantini, profissional de alta capacidade intelectual e bom coração, que em uma tarde de julho de 2005 recebeu amigavelmente na sua sala um mestrando da Faculdade de Odontologia entusiasta da vegetação brasileira, e com seu contínuo apoio, dedicação e abertura de oportunidades levou a uma jornada que culminou com o presente trabalho. Também fica a amizade, as inesquecíveis viagens de campo, ensinamentos em Botânica, aconselhamentos e conversas pessoais e profissionais.

Ao Prof. Marcos Buckeridge, pelos ensinamentos e incentivos na proposição dos Amigos das Árvores de São Paulo, e nas inúmeras conversas e reuniões que disponibilizou dentro da sua escassa agenda, sempre me recebendo com grande simpatia e excelentes ideias.

Aos Professores do Departamento de Botânica, destacando o Prof. José Rubens Pirani, por ter me recebido na primeira vez que fui ao IB, e me ouvir pacientemente para depois indicar o Prof. Gregório, e também pelo seu apoio em diversas ações como a preservação dos campos-cerrados da Cidade Universitária. A Profa. Verônica Angyalossy, por sua ajuda sempre disponível, muitos ensinamentos e simpatia, Profa. Nanuza Menezes e nossas agradáveis conversas sobre a preservação da natureza, em especial os campos-cerrados paulistanos. Também ao Prof. Antônio Salatino, Prof.Gilberto Kerbauy e Profa. Flávia de Mello de Pinna pelo apoio e amizade.

Ao amigo Giuliano Locosselli, com sua inestimável ajuda para a concretização deste trabalho, desde a participação na coleta em Morro do Chapéu até os trabalhos de dendrocronologia no laboratório, que tomaram preciosas horas do seu atribulado cotidiano. Minha sincera gratidão.

Aos outros companheiros de jornada do DendroTeam - Gustavo Burin e Bruno Balboni, amigos que dividiram momentos importantes, como viagens, cursos, projetos, trabalhos e até as conversas no bar. Ao Guilherme Freire, amigo de diversas viagens de coleta botânica em Minas Gerais, que me proporcionaram importante aprendizado.

À Viviane Jono, amiga que acompanhou diversos cursos nacionais e internacionais e me auxiliou na conclusão deste trabalho.

Ao Cairo Faleiros e Luís Horta, amigos que dividiram ótimos momentos na viagem à Amazônia e no cotidiano da Universidade. Também agradeço aos demais amigos e colegas de equipe e laboratório, que sempre me ajudaram e me receberam com um sorriso no rosto.

À Gisele Costa e Tássia Santos pela sempre presente ajuda nos momentos de necessidade no laboratório.

À Karina Lachowski e Suzana Lachowski, pela importante ajuda nos momentos difíceis desta empreitada.

Aos pesquisadores Jochen Schöngart e Florian Wittman, pela atenção, simpatia e ensinamentos na Amazônia em 2008.

Ao Erismaldo Carlos de Oliveira, funcionário do Jardim Didático do IB que sempre me ajudou com minhas mudas e os trabalhos no campinho.

Ao Antônio Barbosa, do IPT, que me auxiliou com a sua constante simpatia em diversas ocasiões do laboratório.

À Alessandra Caiado, pelo incentivo, paciência e suporte na conclusão deste trabalho.

E finalmente para a minha família, que soube compreender minha necessidade de seguir este caminho e me apoiaram incondicionalmente.

Índice

Apresentação 7

Introdução 8

Capítulo 1 15

Dendrocronologia de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Capítulo 2 44

Anatomia e reservas do lenho de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Considerações finais 68

Conclusões gerais 71

Resumo 72

Abstract 73

Apresentação

Esta dissertação apresenta-se formatada em dois capítulos redigidos como artigos científicos.

O primeiro capítulo intitulado "Dendrocronologia de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl." será submetido à revista **Dendrochronologia.** O segundo capítulo intitulado "Anatomia e reservas do lenho de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl." será submetido à revista da **IAWA Jornal**.

Introdução

O lenho das árvores, ou madeira (xilema secundário), tem sido historicamente de grande utilidade para a humanidade. Suas aplicações tradicionais como lenha, celulose e material de construção continuam amplamente utilizadas, constituindo-se atualmente no quinto produto mais importante do mercado mundial. (Plomion *et al*. 2001) Entretanto, a importância do xilema não se restringe somente à economia. Para a Ciência, esse tecido vegetal armazena em suas estruturas internas importantes informações ambientais derivadas do crescimento da planta, que podem ser resgatadas através de abordagens adequadas, como a dendrocronologia, ciência que estuda os anéis de crescimento (Worbes, 2002).

O crescimento das espécies arbóreas, depende de uma série de fatores bióticos e abióticos para ocorrer (Morellato *et al*. 1990), que proporcionam a ativação do câmbio e o ciclo de crescimento nas espécies lenhosas. Na ativação do câmbio, o xilema, relacionado à reserva, mobilização e translocação de nutrientes, juntamente com os elementos condutores, disponibiliza carboidratos para o desenvolvimento vegetal (Citadin, 2006).

Durante o crescimento da planta, tecidos fotossinteticamente ativos (folhas maduras) se desenvolvem. Eles produzem e exportam carboidratos para outros tecidos com menor ou sem atividade fotossintética, como raízes, frutos e caules, caracterizados como importadores de açúcar, em uma relação de fonte-dreno (Roitsch, 1999).

A variação sazonal dos fatores ambientais como temperatura, fotoperíodo e precipitação está relacionada à ativação do câmbio, que também pode ser ativado ou potencializado por reservas estocadas pelo xilema em épocas própícias (Détienne 1989; Worbes 1999; Enquist & Leffler 2001; Citadin, 2006).

A disponibilidade sazonal de recursos no meio ambiente pode proporcionar o desenvolvimento e o aparecimento de expressões anatômicas no xilema, derivadas da atividade do câmbio e formadores dos anéis de crescimento, que podem ser atrelados aos anos do calendário com um alto grau de confiança. O estudo dos anéis de crescimento anuais disponibiliza informações sobre o crescimento de toda a vida da árvore (Burger & Richter, 1991; Hughes 2002; Soliz-Gamboa *et al*. 2011).

Para datar os anéis de crescimento de forma absoluta é preciso conhecer o ritmo cambial das espécies, já que a existência de anéis de crescimento em uma dada espécie não significa que estes sejam formados com periodicidade anual, tampouco regular. Ressalta-se também que nem todas as espécies apresentam anéis visíveis anatomicamente (Oliveira, 2007).

O estudo da seqüência cronológica dos anéis de crescimento presentes no xilema advindos da sazonalidade anual é de grande importância tanto para as Ciências Florestais assim como para Ecologia. A idade da árvore, a obtenção acurada dos ciclos de cortes, do regime de desbastes e da estimativa de volumes admissíveis para uma exploração sustentável, palavra de ordem no mundo atual, são baseados neste conhecimento (Botosso & Mattos 2002; Worbes, 2002).

A existência dos anéis de crescimento foi observada desde os primórdios da humanidade, com os relatos iniciais na Grécia antiga. No século XVI, Leonardo da Vinci reconheceu a relação entre os anéis de crescimento e o clima em árvores de *Pinus* na região da Toscana na Itália. Relatou que os anéis de crescimento permitem estimar o número de anos e, em função de sua espessura, indicar os anos mais ou menos secos (Corona, 1986).

Essa relação entre o crescimento das árvores, condições climáticas e a sazonalidade permite que os anéis de crescimento possam ser usados para reconstruir e compreender climas passados, sendo essa correlação de informações denominada dendroclimatologia (Stokes & Smiley 1996).

Através desta ciência, é possível inferir o clima passado e estimar eventos futuros. Schongart *et al*. (2004) detectaram através de estudos dendroclimatológicos que o crescimento radial de uma espécie arbórea amazônica longeva e com madeira de alta densidade (*Piranhea trifoliata*) tem a periodicidade demarcada anualmente por ciclos de inundação. Identificaram também o fenômeno climático "El Niño", em uma série temporal de 200 anos, com o aumento da sua severidade, o que pode indicar a ocorrência de mudanças climáticas.

Os estudos dos anéis de crescimento podem ser realizados em grande parte do Planeta devido às plantas lenhosas com anéis serem encontradas em diversos climas da terra, entretanto, historicamente o foco da maior parte dos trabalhos relacionados ao tema foi realizado em regiões temperadas (Stokes & Smiley 1996; Roig 2000).

A concentração dos trabalhos de dendrocronologia nas regiões frias do planeta produziu controvérsias sobre a existência de anéis de

crescimento anuais nos trópicos para alguns autores, e uma das mais importantes razões para a pouca aceitação do crescimento arbóreo sazonal nos trópicos é o fato de que nestes não existem invernos rigorosos, com forte sazonalidade térmica (Vetter & Botosso 1989, Worbes 1989).

Na zona tropical, diferentemente das regiões temperadas com temperaturas extremamente baixas no inverno, é a quantidade de precipitação que regula a dormência no câmbio e interrupção no crescimento da planta (Worbes 1999).

A sazonalidade tropical constitui-se quando ocorrem estações secas com menos de 50 mm de chuva por mês e a diminuição das precipitações no começo e durante a estação, que levam a um menor potencial hídrico no solo (Schweingruber 1996).

Na maior parte deste período seco, quando esse potencial está em seu ponto mínimo para manutenção do vegetal, árvores não-decíduas e decíduas entram em um período de dormência cambial, e umas das conseqüências desta dormência é a formação de anéis na madeira (Worbes 1988; Worbes 1995).

Atualmente o estudo dos anéis de crescimento vem se tornando mais comum nas regiões tropicais, sendo a existência de anéis anuais nos trópicos e subtrópicos comprovadas há mais de trinta anos, contrariando idéias anteriores de que árvores tropicais apresentam um crescimento rápido e contínuo por toda a existência do indivíduo (Vetter & Botosso 1989; Mattos *et al* 2004, Worbes 1989, 1995, 2002; Soliz-Gamboa et al 2011).

Raramente estudadas nos trópicos e comumente nas zonas temperadas do planeta, as coníferas possuem a capacidade de gravar

anualmente no seu tronco, na forma de anéis de crescimento, as variáveis ecológicas do ambiente, constituindo-se importante fonte de informações para a dendrocronologia (Wehr & Tomazello Filho 2000 *apud* Tomazello Filho *et al* 2000).

No Brasil, o *Podocarpus* (pinheiro-bravo) juntamente com a *Araucaria angustifolia* (pinheiro brasileiro) constituem-se nos únicos gêneros arbóreos de coníferas, e foram intensamente exploradas como madeira comercial (Milani 2010).

Ocorrem em território brasileiro três espécies endêmicas do gênero *Podocarpus*: *P. brasiliensis* Laubenfels, e *P. sellowiii* Klotzch ex Endl e *P. lambertii* Klotzch (Ledru *et al* 2007).

Estas espécies ocorrem tanto no domínio da Floresta atlântica (*P. sellowiii* Klotzch ex Endl e *P. lambertii* Klotzch) quanto no domínio do cerrado (*P. brasiliensis* Laubenfels e *P. sellowiii* Klotzch ex Endl.), entretanto:, *P. sellowiii* e *P. lambertii* podem ocorrer algumas vezes na mesma área, e *P. sellowiii* desenvolve-se em um amplo espectro de climas do norte ao sul do Brasil. Os padrões de distribuição dos *Podocarpus* são formados por populações esparsas restritas a refúgios como altas elevações em cadeias de montanhas, florestas de galeria no cerrado e caatingas (Ledru *et al.,* 2007).

A espécie objeto desta pesquisa, o *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl. é de reconhecido valor comercial e muito explorada, porém pouco estudada, o que dificulta sua recuperação (Milani 2010). Árvore perenifólia de altura variável, apresenta uma altura média de 10 metros com 20 a 40 centímetros de diâmetro na altura do peito (DAP), e seu tronco é normalmente tortuoso, inclinado e curto. Sua distribuição natural ocorre

em duas áreas distintas. A primeira entre 10°30’ S a 11° 35’ S na Bahia; e a segunda entre 19° 10’ S em Minas Gerais a 31° 20’ no Rio Grande do Sul, sendo freqüente entre 600 e 1800 metros de altitude (Carvalho 2004).

Quanto aos aspectos ecológicos é uma espécie secundária tardia ou clímax tolerante à sombra. A madeira do *P. lambertii* é pouco densa (0,43 a 0,54 $g.cm^3$) com alburno e cerne não-diferenciados, de coloração bege-clara a uniformemente amarelada. Pode ser utilizada para celulose e papel, lenha, marcenaria e instrumentos musicais (Carvalho 2004).

Apresenta também ampla resistência à poluição, como demonstrado no trabalho de Maranho *et al.* (2006), na qual indivíduos submetidos a um acidente com o derramamento de quatro milhões de litros de petróleo sobreviveram, enquanto o restante da vegetação de Floresta Ombrófila Mista foi quase que integralmente dizimada.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a possibilidade de realizar datações cruzadas com os anéis de crescimento de *P. lambertii*, a construção de uma cronologia para determinada população e verificar se existe correlação entre o crescimento radial, precipitações anuais anteriores, condução e reservas nos anéis de crescimento do xilema para posterior disponibilização a planta.

Os objetivos específicos são:

1. Analisar as relações entre a cronologia e o clima do local de coleta para determinar que fatores ocasionam maiores influências na cronologia.

2. Avaliar anatomicamente o xilema ativo desta espécie, e verificar em até que anel de crescimento e respectiva idade o xilema mantém-se com células portadoras de reservas armazenadas e suas possíveis relações com os anéis de crescimento.

3. Verificar em até qual anel de crescimento e respectiva idade a seiva do xilema é conduzida e suas relações com as reservas das células parenquimáticas do xilema.

Hipóteses em teste:

1. É possível construir uma cronologia com os anéis de crescimento de determinada população de *Podocarpus lambertii.*
2. Os anéis de crescimento de *P. lambertii* são sensitivos às condições climáticas locais.
3. O xilema ativo de *P. lambertii* acumula reservas em seus anéis de crescimento para incrementos futuros.
4. A espécie apresenta um crescimento mais lento em Morro do Chapeú, Bahia, do que na região Sul do Brasil.

Capítulo 1 - Dendrocronologia de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Ricardo Henrique Cardim[1], Giuliano Locosselli[1], Gregório Ceccantini[1]

[1] Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

A Dendrocronologia, ciência que estuda os anéis de crescimento anuais presentes no xilema, permite obter informações sobre o crescimento de toda a vida da árvore. Um dos seus requisitos básicos é a anualidade da formação do anel de crescimento, característica presente nas coníferas. No Brasil existem dois gêneros de coníferas: *Araucaria* e *Podocarpus*, sendo apenas o primeiro estudado dendrocronologicamente. *Podocarpus lambertii*, espécie alvo deste estudo, foi analisado em uma população existente em Morro do Chapéu, Estado da Bahia, Brasil, situada na zona limite norte de distribuição da espécie. Um total de 19 indivíduos foram amostrados, sendo 7 por secções transversais do lenho (discos) e 12 por trado de incremento (baquetas) que foram polidos e tiveram seus anéis de crescimento medidos. Anéis ausentes e confluentes dificultaram a datação, que após análise dendrocronológica resultou em uma cronologia de boa sensitividade e intercorrelação, com uma série temporal de 73 anos (1935-2008), comprovando a anualidade dos anéis de crescimento da espécie através da dendrocronologia. O histórico de dados climáticos locais foi comparado com a cronologia e permitiu informações a respeito do crescimento da espécie, que responde negativamente a época de maiores temperaturas (dezembro e janeiro) e também negativamente a maior incidência de precipitação e irradiação solar (janeiro), o que sugere a

insolação ser um fator importante de ativação cambial e formação do anel de crescimento.

Palavras-chaves: Podocarpus, Dendrocronologia, anéis de crescimento.

Abstract

The Dendrochronology is the science that studies of annual growth rings present in the xylem. It allows to access information stored during the life tree. One of its basic requirements is the annual nature of growth ring formation, a feature usually present in conifers. In Brazil there are two genus of conifers, *Araucaria* and *Podocarpus*, but just the first was studied dendrochronology. *Podocarpus lambertii*, target species of this study was analyzed in a growing population living at Morro do Chapeu, Bahia State, Brazil, located at the Northern limit of species distribution. A total of 19 individuals were sampled, they were polished and this growth rings were measured. Missing and confluent rings difficulted to determine precise ages but after dendrochronological analysis it was possible to built good chronology, with significative intercorrelation and sensivity. A series of 73 years (1935-2008), confirmed the annual nature of growth rings of this species by dendrochronology. The history of local weather informations was compared with the chronology and allowed a good understanding the species growth, which respond negatively to higher temperatures (December and January) and also negatively to higher solar radiation (January), that suggests that heatstroke is an important point of activation and formation of the ring's growth.

Key-words - *Podocarpus*, dendrochronology, tree rings.

1. Introdução

A Dendrocronologia é o estudo da sequência cronológica dos anéis de crescimento, e um dos seus princípios básicos determina que árvores crescidas em condições ambientais parecidas também devem apresentar características semelhantes no seu crescimento e coincidências no padrão de seus anéis de crescimento estreitos e largos (Stokes & Smiley 1968).

Essa sincronicidade pode fornecer diversas informações a respeito do ambiente onde ocorreu o crescimento do vegetal lenhoso, permitindo inferir dados sobre o clima, enchentes, avalanches, incêndios, fauna, antrópicos, entre outros (Schweingruber, 1996). Importante também para a preservação ambiental e a economia, a Dendrocronologia tem se mostrado ferramenta eficaz no manejo para extração madeireira sustentável em locais ameaçados pela devastação, como a região amazônica. Através da obtenção de taxas de incremento, idade arbórea e modelos de crescimento, conseguem-se informações de grande utilidade para o cálculo da idade, extração adequada, regeneração da população da espécie e ciclos de corte para a manutenção florestal e econômica da população tradicional local (Wittmann *et al*., 2009).

Outra contribuição importante do estudo dos anéis de crescimento é no atual debate atual global sobre mudanças climáticas, auxiliando no entendimento do clima em diferentes épocas e predições, sendo este ramo denominado dendroclimatologia e que recentemente tem atraído a atenção dos climatologistas (Hughes, 2002).

Os estudos dendrocronológicos, embora comuns na região temperada do mundo, ainda são muito escassos nos trópicos (Villalba, 2000). Nas regiões tropicais com estação seca distinta, os anéis de crescimento podem

ser reconhecidos anatomicamente, e muitas vezes são formados com periodicidade anual pela indução da dormência cambial (Worbes, 1999; Alves & Agyalossy-Alfonso, 2000; Worbes, 2002; Schongart *et al*., 2006).

Um dos principais fatores de periodicidade cambial nos trópicos é a sazonalidade das precipitações, e não a temperatura, como na zona temperada (Worbes, 1995, 2002; Argolo, 2008). Nas últimas décadas, diversos trabalhos de dendrocronologia tropical vêm sendo realizados com êxito nos vários continentes: África (Vogel *et al*., 2001; Trouet *et al*., 2001), América do Sul (Argollo *et al*., 2008; Locosselli, 2010; Soliz-Gamboa *et al*., 2011), Ásia (Pumijumnong *et al*. 1995) e América Central (Worbes, 2002).

Na América do Sul, os registros dendrocronológicos provém em sua maioria das regiões temperadas e frias da Argentina, Chile e Bolívia, e os registros na regiões subtropicais são menos numerosos (Villaba, 2000; Argollo *et al*., 2008).

Trabalhos com dendrocronologia no Brasil, país de grande biodiversidade e dimensões continentais, ainda são escassos perante as potencialidades. As pesquisas tem sido realizadas em poucas regiões, embora recentemente tenham aumentado em número. (Schongart, 2002; Schongart *et al*., 2004; Mattos *et al*., 2007; Lisi *et al*., 2008; Callado & Guimarães, 2010; Mattos *et al.,* 2010; Oliveira, 2010; Locosselli, 2010; Rauber, 2010; Brandes *et al*., 2011; Schongart, 2011).

Mesmo sendo uma conífera com anéis de crescimento reconhecidamente anuais, o gênero *Podocarpus* foi pouco estudado na América do Sul. Pérez *et al.* (2009) trabalharam com sete indivíduos de *P. nubigena* em florestas tropicais no Chile. No Brasil, Mattos *et al.* (2007)

estudaram os anéis de *P. lambertii* no Estado do Paraná e acharam sinais comuns em alguns anos. Balboni (2008) estudou com êxito os anéis de *P. sellowii* em Juquitiba, Estado de São Paulo e Milani (2010) realizou breve cronologia com *P. lambertii* em duas populações distintas do Rio Grande do Sul para avaliação do seu crescimento e produção florestal.

Este trabalho tem o objetivo de construir uma cronologia da população de *P. lambertii* do Morro do Chapéu - BA e verificar se existem relações entre esta cronologia e as condições climáticas locais para determinar que fatores geram maiores influências no crescimento da espécie.

2. Material e Métodos

2.1 *Podocarpus lambertii*

A espécie em estudo, *P. lambertii*, segundo Carvalho (2004), ocorre em duas áreas disjuntas. A primeira entre 10°30' S a 11°35' S na Bahia, e a segunda entre 19°10' S em Minas Gerais a 31°20' no Rio Grande do Sul (figura 1). É uma árvore de porte variável, medindo de 1 a 4 metros na zona campestre, e até 27 metros de altura e 120 cm. de DAP (diâmetro na altura do peito) quando no interior da floresta. Quanto ao grupo sucessional, é uma espécie secundária tardia ou clímax tolerante a sombra.

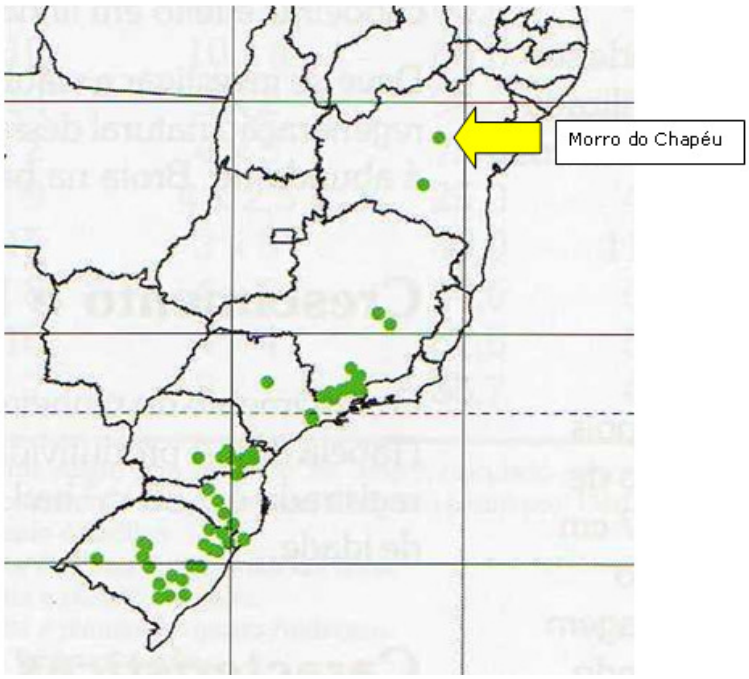


Figura 1 - Ocorrência de *P. lambertii* no Brasil.

2.2 Local de coleta

As amostras foram coletadas no município de Morro do Chapéu, situado no Estado da Bahia, Brasil. A população de *Podocarpus lambertii* alvo deste estudo distribui-se em área restrita, no topo de uma elevação de destaque no suave relevo local denominada "Morro da Antena", a 11°32' S de latitude e 41°08'O de longitude com altitude de 1200m.

Os exemplares da espécie estão restritos ao topo, habitando o interior dos corredores formados por afloramentos rochosos areníticos com cerca de 4 a 6 metros de altura, o que proporciona ao local um aspecto labiríntico. Nessas áreas o ocorre um maior sombreamento gerado pelas paredes rochosas e aparentemente mais umidade disponível, criando um microclima diferenciado ao das vertentes sem tais afloramentos.

Fora do topo da elevação, não foram encontrados indivíduos de *P. lambertii*, sugerindo que eles dependem de condições específicas do topo de morro. Nas figuras 1B e 1C pode-se observar essa dinâmica da distribuição dos exemplares nos corredores rochosos.

Quanto à vegetação, o município apresenta várias formações vegetacionais como caatinga (predominante), campo rupestre, mata, "tabuleiro", vegetação de dunas interiores e áreas de transições (Junqueira & Simão-Bianchini, 2006).

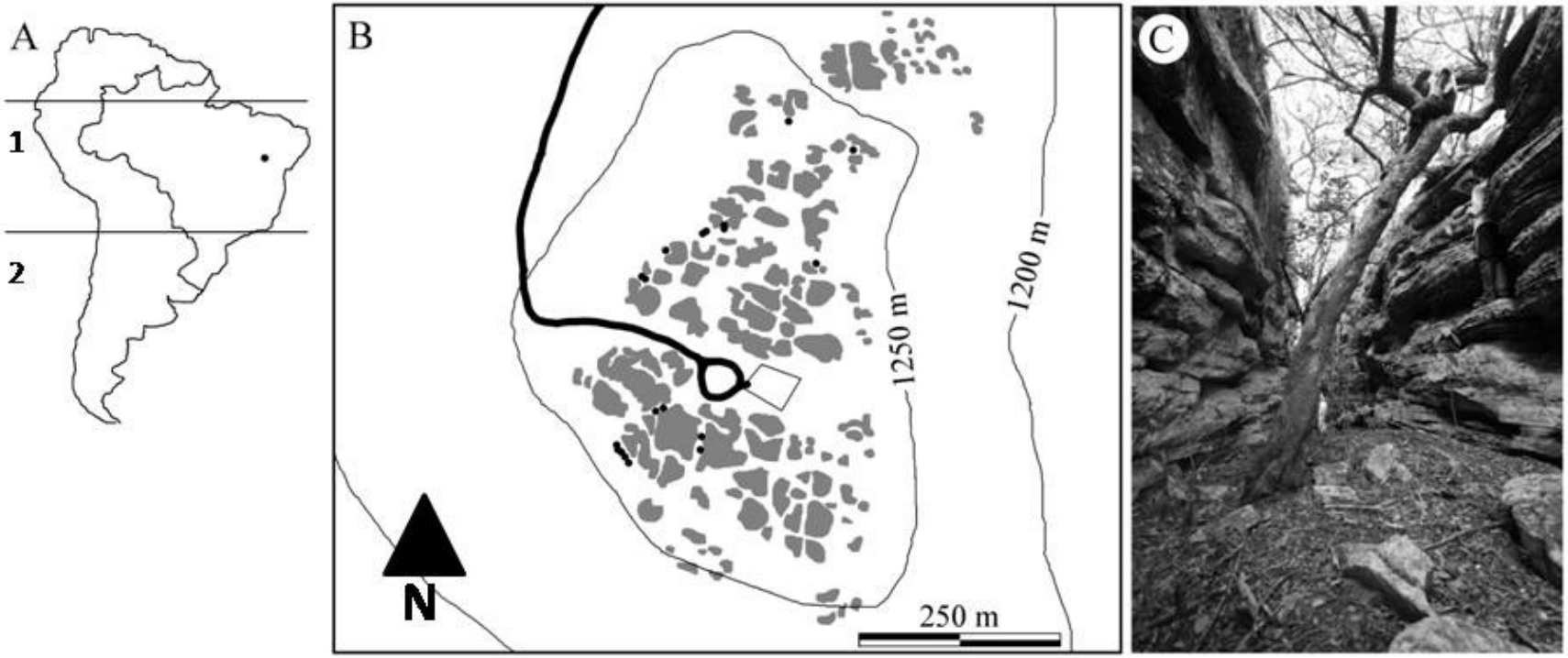


Figura 2 - A. Localização na América do Sul e Brasil da população estudada neste trabalho 1 – Equador, 2 – Trópico de Capricórnio. B. Distribuição dos indivíduos de *P. lambertii* no interior dos corredores entre as formações rochosas (cor cinza) no topo da elevação, onde abaixo da cota dos 1250 metros não ocorre mais. C. Exemplo típico de indivíduo de *P. lambertii* vivendo entre as rochas.

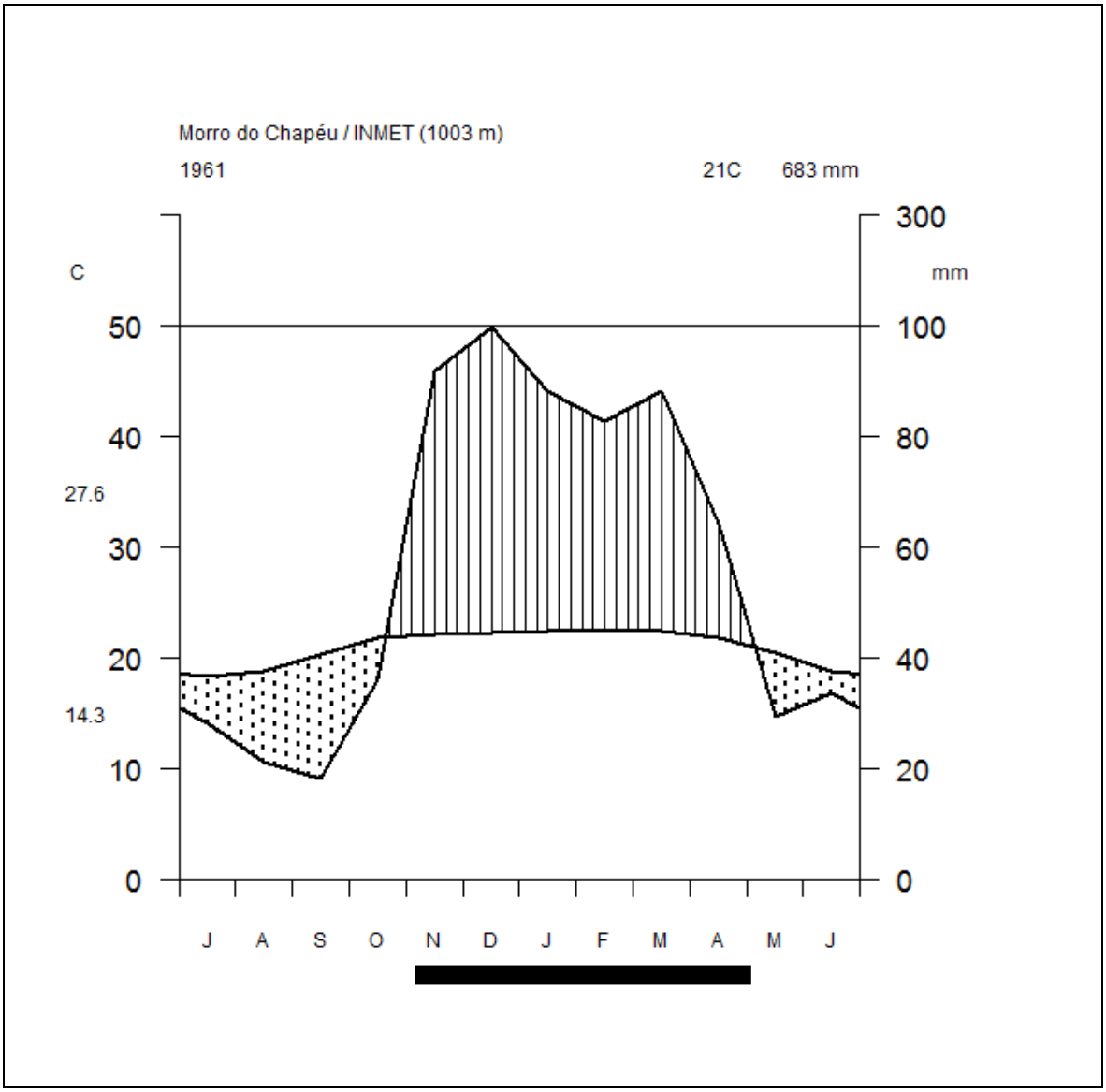


Figura 3 - Climadiagrama construído a partir dos dados de estação de coleta do INMET em Morro do Chapéu. Na faixa preta abaixo dos meses, a estação úmida, de novembro a abril.

Sobre clima, foram obtidos dados disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e construído um climadiagrama (figura 3). O climadiagrama foi construído utilizando o programa R (R Development Core Team, 2011). A estação de crescimento representada na

figura 2 foi definida nos meses com precipitação superior a 60 mm conforme Worbes (1995), e pode-se observar que a precipitação é sazonalmente concentrada entre novembro e abril.

A análise do gráfico permite a visualização de uma estação seca nítida entre maio e outubro e estação de crescimento entre novembro e abril.

O município de Morro do Chapéu situa-se no norte da Chapada Diamantina sendo classificado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA como zona de extrema prioridade para conservação. Além de outras características, o município possui uma tipologia vegetal única de caatinga que não se encontra representada em nenhuma das outras Unidades de Conservação (Maury 2002).

Segundo a figura 1 de ocorrência da espécie, a população de *P. lambertii* de Morro do Chapéu está em uma zona limite de distribuição, sendo os indivíduos mais ao norte conhecidos (Carvalho 2004).

2.3 Material coletado e processamento

Foi inicialmente realizada a secção do lenho de um indivíduo previamente coletado e amostrado com trado de incremento pela equipe em 2004, com o objetivo de analisar o resultado da cicatriz deixada e verificar a anualidade dos anéis pelo método da marcação cambial (Mariaux, 1967).

No restante da população de *P. lambertii* foram extraídas com um trado de incremento 46 amostras cilíndricas (baquetas) de 5 mm de diâmetro e comprimento variável conforme o raio da árvore amostrada de

20 indivíduos (Figuras 4). Sempre foram retiradas duas ou mais baquetas por árvore na altura do peito (Locosselli, 2010).

Também foram coletados discos completos (secções transversais) de 7 indivíduos arbóreos na altura do peito, tomando-se o cuidado de passar fita adesiva em toda a sua circunferência para evitar rachaduras radiais no processo de secagem. Na tabela 1 são apresentadas as características dos indivíduos coletados.

Tabela 1 - Características dos indivíduos coletados.

Número do coletor (GC)*	Indivíduo	Altura (m)	Circunferência (cm)	Diâmetro calc. (cm)	Idade (anos)	Amostragem	SPFw
3371	(1)	3,5	29,0	9,2	44	baqueta	3315
3372	(2)	4,0	38,0	12,0	52	baqueta	3316
3373	(3)	3,5	19,0	6,0	n.o.	baqueta	3317
3374	(4)	4,0	44,0	14,0	74	baqueta	3318
3375	(5)	4,0	62,0	19,7	53	baqueta	3319
3376	(6)	4,0	44,0	14,0	44	baqueta	3320
3377	(7)	5,0	45,0	14.3	n.o.	baqueta	3321
3378	(8)	3,0	26,0	8,3	71	baqueta	3322
3379	(9)	4,5	37,0	11,7	54	baqueta	3323
3380	(10)	4,5	35,0	11,1	42	baqueta	3324
3381	(11)	4,0	38,0	12,0	54	baqueta	3325
3382	(12)	5,0	38,0	12,0	104	baqueta	3326
3383	(13)	4,5	48,0	15,3	74	baqueta	3327
3384	(14)	4,5	67,0	21,3	107	baqueta	3328
3385	(15)	2,0	23,0	7,5	n.o.	baqueta	3329
3386	(16)	6,0	20,0	6,3	n.o.	baqueta	3330
3387	(17)	4,0	15,5	4,9	37	baqueta	3331
3388	(18)	3,0	22,0	7,0	n.o.	baqueta	3332
3389	(19)	4,0	9,4	3,0	35	disco	3333
3390	(20)	10	43,0	13,7	n.o.	baqueta	3334
3391	(21)	10	65,0	20,7	n.o.	baqueta	3335
3393	(22)	5,0	63,0	20,1	69	disco	3336
3398	(23)	5,5	15,7	5,0	44	disco	3337
3399	(24)	4,9	10,0	3,2	41	disco	3338
3400	(25)	3,2	14,1	4,5	n.o.	disco	3339
3401	(26)	4,4	13,8	4,4	48	disco	3340
2401	(27)	4,0	15,7	5,0	48	disco	3341

n.o. = não obtido.
* CG - número do coletor Gregório Ceccantini

As baquetas foram fixadas com cola lavável de PVA tendo-se o cuidado de os elementos axiais ficarem em posição vertical após montados, o que facilita a visualização dos anéis de crescimento, posteriormente montadas e deixadas para secar a sombra e temperatura ambiente (Argollo *et al.* 2008).

Após a completa secagem das amostras, os discos foram aplainados com uma plaina elétrica de mão e ambos, baquetas e discos, polidos com lixas de granulação de 60 até 2000 e embaixo de um fluxo constante de água, esse tipo de polimento permite visualizar com maior qualidade os elementos anatômicos (traqueídes, parênquima), sendo indispensável para a correta análise das amostras e seus anéis de crescimento (Argollo *et al.*, 2008; Locosselli, 2010; Soliz-Gamboa *et al.,* 2011).

A

B

Figura 4 -A. Trado de incremento posicionado em indivíduo de *P. lambertii* em Morro do Chapéu - BA. B. Amostras (baquetas) após processamento e prontas para medição.

2.3 Medições e análises da largura de anéis de crescimento

Após a finalização e completo polimento das amostras, nos discos foram escolhidos quatros raios para as datações. Buscou-se evitar regiões dos raios com injúrias visíveis ou anomalias da madeira que claramente pudessem prejudicar a datação cruzada.

Todas as amostras tiveram seus anéis de crescimento marcados com uma lapiseira de grafite 0.3 mm e ajuda de um esteromicroscópio (Leica), sempre partindo do câmbio em direção a medula.

Após a demarcação, os raios foram fotografados com um esteromicroscópio (Leica) e câmera fotográfica digital acoplada (Leica). Em seguida os anéis de crescimento tiveram suas dimensões medidas com o auxílio de um programa de domínio público ImageJ 1.38X Wayne Rasband, NIH, Bethesda, MD, USA (previamente calibrado com a fotografia de uma lâmina micrometrada (Carl Zeiss).

Utilizaram-se técnicas de análise dendrocronológica para a datação cruzada das séries de anéis de crescimento individuais e confecção de uma cronologia da população amostrada (Stokes & Smiley, 1968) Isso permite uma identificação confiável de "falsos anéis" e anéis ausentes totalmente ou parcialmente trazendo a certeza que um determinado anel foi formado em um ano conhecido (Hughes 2002).

A datação cruzada dos anéis de crescimento das amostras foi realizada com auxílio do programa COFECHA (Holmes 1983; Pérez *et al.* 2009; Soliz-Gamboa *et al.* 2011). O programa realizou as análises utilizando os seguintes parâmetros diferentes do padrão - tamanho do segmento = 30 anos e espaço das análises a cada 15 anos. Para certificar que cada trecho da cronologia estava bem representada pelo número de

amostras disponíveis, foi calculado o índice "Efectiveness per sample" (EPS) em seguimentos de 30 anos a cada 15 anos (Wigley, 1984). Após a elaboração da cronologia, construiu-se a cronologia residual com o programa ARSTAM (Locosselli, 2010).

Com o intuito de verificar o efeito do clima sobre o crescimento da população, elaboraram-se modelos lineares, utilizando os dados mensais de temperatura (máxima, média, mínima), insolação e precipitação. Os modelos foram construídos utilizando o programa R (R Development Core Team, 2011). O melhor modelo linear foi escolhido com base no valor de AIC (Critério de Informação de Akaike) calculado pelo mesmo programa. Para compreender a relação entre a precipitação mensal e a disponibilidade de luz solar foi realizada uma regressão linear entre as duas variáveis.

Além do clima mensal, verificou-se o efeito das variáveis climáticas na estação de crescimento. Para isso, a cronologia residual calculada foi correlacionada com a temperatura máxima, média e mínima, e a precipitação do período correspondente. As correlações foram calculadas no programa R (R Development Core Team, 2011).

3. Resultados

3.1 Anéis anuais

Podocarpus lambertii possui anéis anuais, o que foi confirmado pela literatura (Mattos *et al.,* 2007; Pérez *et al,.* 2009; Milani, 2010) e também neste trabalho através da marcação cambial e Dendrocronologia. Em 2004, um indivíduo da população de Morro do Chapéu foi amostrado por trado de incremento, o que lesionou seu câmbio. No início de 2009, esse mesmo

indivíduo teve seu lenho seccionado transversalmente e verificou-se a formação de anéis anuais desde o ano da lesão (Figura 5).

Seus anéis de crescimento são demarcados pelo lenho tardio (LT) formado no final da estação de crescimento, caracterizado pelas traqueídes de paredes espessadas e lume achatado, enquanto o lenho inicial (LI) apresenta traqueídes de paredes delgadas e grande lume, e é formado no início e decorrer da estação de crescimento (Figura 6).

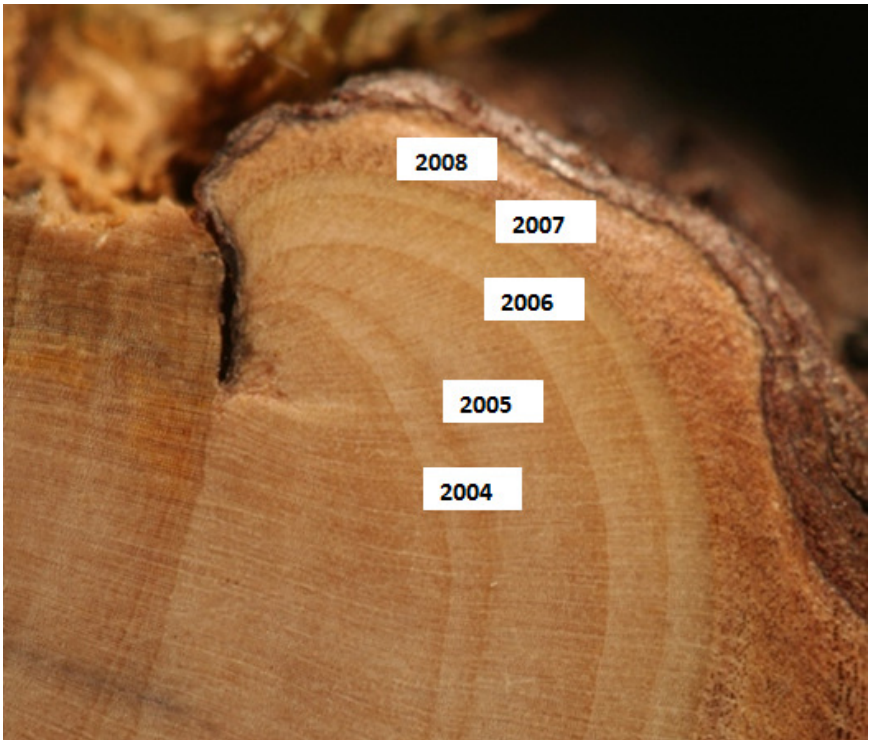


Figura 5 - Indivíduo perfurado por trado de incremento em 2004 e seccionado em março de 2009, apresentando os respectivos anéis anuais do

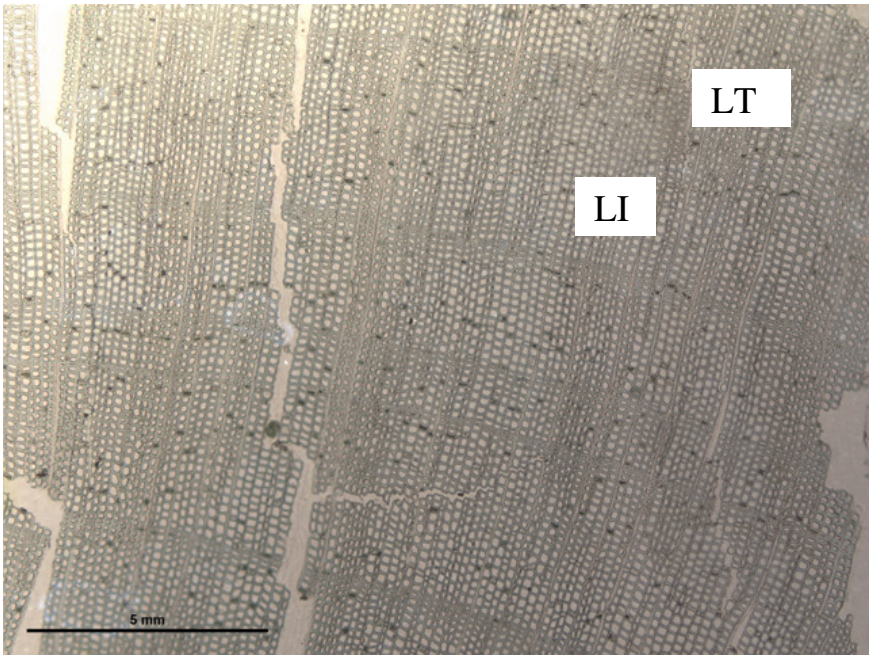


Figura 6 - Corte transversal do xilema secundário de *P. lambertii.* LT - lenho tardio, LI - lenho inicial.

3.2 Crescimento e incremento.

Analisando as tendências de crescimento da população de Morro do Chapéu pode-se distinguir o momento em que os indivíduos alcançam o dossel florestal ou a borda das formações rochosas e passam a receber maior quantidade de insolação direta, que proporciona maior incremento médio. Na figura 7, percebe-se um aumento nos incrementos por volta dos 22 anos de idade, na qual possivelmente os indivíduos saem do sub bosque e passam a participar do dossel, mas ainda abaixo dos afloramentos rochosos. Aproximadamente aos 64 anos de idade, alguns indivíduos conseguem ultrapassar a barreira de sombra da formação arenítica e se estabelecer em sol pleno, com maiores incrementos médios.

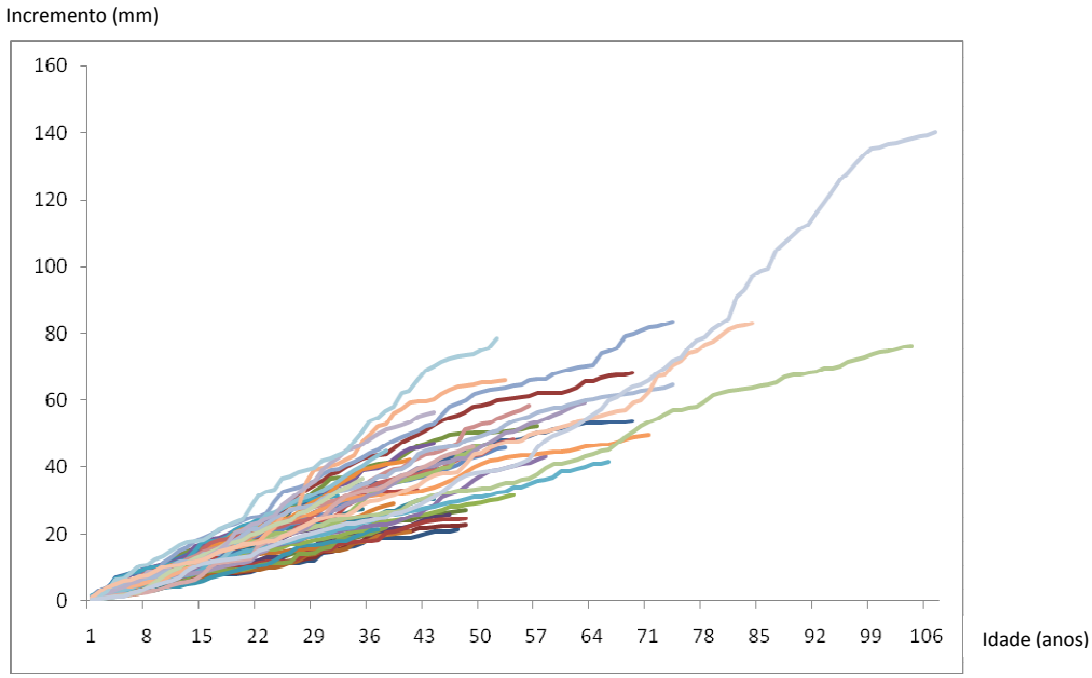


Figura 7 - Incremento (mm) da população amostrada versus idade (anos).

Comparando os incrementos médios em diâmetro anual do lenho de Morro do Chapeú com outras localidades brasileiras de ocorrência de *P. lambertii* analisados em diferentes trabalhos pode-se perceber o crescimento lento da espécie na população estudada (figura 8). Em Candói, Estado do Paraná, a média de incremento em diâmetro dos indivíduos chega a ser mais de 6 vezes do que na área deste estudo (Mattos *et al*. 2007).

Localidade	Pesquisa	Incremento médio por ano em cm.
Bahia - Morro do Chapeú	Cardim 2012	**0,08**
Paraná - Candói	Mattos *et al.* 2007	**0,55**
Rio Grande do Sul - São Francisco de Paula	Milani 2010	**0,36**

Figura 8 - Incremento médio em diferentes regiões de ocorrência de *P. lambertii* no Brasil.

3.2 Largura do anel de crescimento

Os limites dos anéis de crescimento de *Podocarpus lambertii* estão definidos por um maior espessamento das paredes das traqueídes no lenho tardio que contrastam com as paredes delgadas e de coloração mais clara do lenho inicial. Os anéis de crescimento da população da espécie possuem uma largura média de 0,89 mm com desvio padrão de 0,68, sendo o incremento máximo de 7.81 mm/ano e mínimo de 0,05mm/ano.

Na tabela 2. pode se observar o diagnóstico da cronologia obtida a partir da medição dos anéis de crescimento de *P. lambertii* e sua análise de qualidade e comprimento, resultado de 19 indivíduos analisados em 43 raios. Como cada trecho da série necessita estar bem representado pelo número de amostras utilizadas, para isso foi calculado o EPS (Efectiveness per sample), que deve possuir valor maior que 0,85 (Tabela 3). A cronologia utilizada foi de 73 anos, e a cronologia residual utilizada nas análises climáticas está representada na figura 9.

A análise de modelos lineares do efeito do clima mensal sobre o crescimento da espécie mostrou que o modelo que melhor explica os resíduos de crescimento é o composto pelas seguintes variáveis preditoras: temperatura máxima de dezembro e a precipitação de janeiro da estação de crescimento corrente (tabela 5). As duas variáveis explicam 60% da variação dos resíduos de crescimento, sendo que a temperatura máxima de dezembro explica 24% e a precipitação de janeiro, 36% da variação dos resíduos. Ambas variáveis possuem um efeito negativo sobre o crescimento, ou seja, quanto maior a temperatura e ou a precipitação menor o crescimento.

A análise dos modelos (tabela 4) e a figura 10 mostram que a precipitação de janeiro da estação de crescimento corrente está correlacionada negativamente com a insolação do mesmo mês. Ou seja, quanto mais chove, menor o número de horas com céu limpo por mês e, consequentemente, menor a insolação disponível para a população de *P. lambertii.*

Dentro do tamanho médio da cronologia, os valores de sensitividade alcançados (tabela 2) mostram que não existe complacência nos anéis de crescimento.

Tabela 2: Valores de intercorrelação, sensitividade da cronologia e comprimento máximo e médio (em anos) da série de *Podocarpus lambertii.*

Intercorrelação	Sensitividade	Comprimento máximo (anos)	Comprimento médio (anos)
0.423*	0.633	107	51.5

*Valor crítico - 0,4226.

Tabela 3: Valores de EPS para cada um dos intervalos de tempo na cronologia.

Valor do EPS						
1919-1980	1934-1905	1949-1920	**1935-1964**	**1950-1979**	**1965-1994**	**1980-2009**
0,3	0,33	0,69	**0,9**	**0,91**	**0,93**	**0,93**

*EPS significativo > 0.85

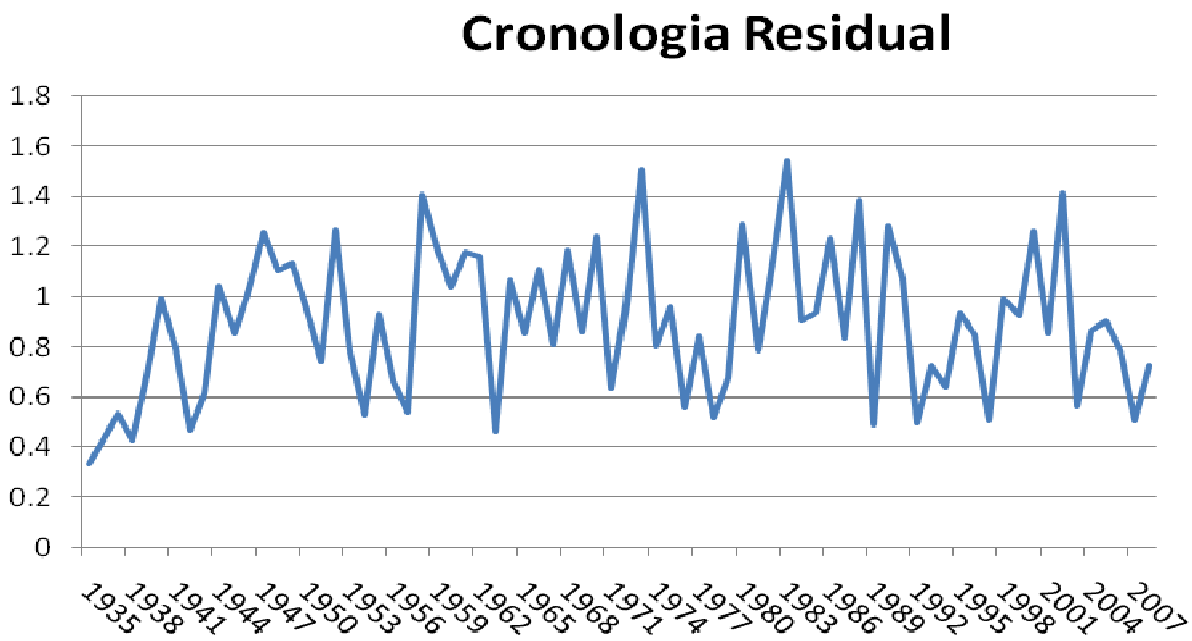


Figura 9 - Cronologia residual de largura do anel de crescimento de *P. lambertii*.

Tabela 4 - Resultados das análises dos modelos clima / crescimento de *P. lambertii.* O Cálculo do AIC indica o melhor modelo que representa a influência do clima sobre o crescimento da espécie. O melhor modelo está destacado em negrito, determinado por seu menor valor de AIC

Modelo	AIC
Res = Prec Jan(+1) + Temp Dez	**-14.6**
Res = Prec Jan(+1) + Temp Dez + Insol Jan(+1)	-11.8
Res = Insol Jan(+1)	-8.4
Res = Temp Dez + Insol Jan(+1)	-5.3
Res = Prec Jan(+1)	-5.1
Res = Temp Dez	-2.9
Res = Prec Jan(+1) + Insol Jan(+1)	-0.8

Tabela 5 - Descrição do modelo de clima / crescimento de *P. lambertii*. Definido pela análise de AIC, A precipitação de janeiro e temperatura de dezembro são as variáveis climáticas mais importantes para o crescimento de *P. lambertii*, explicando 60%.

Variável preditora	Coeficiente	% explicada	p
Intercepto	3.6414	-	> 0.0001*
Prec Jan(+1)	-0.0018	0.36	> 0.0001*
Temp Dez	-0.0955	0.24	0.002*
Resíduos	-	0.4	-

* α=0.05

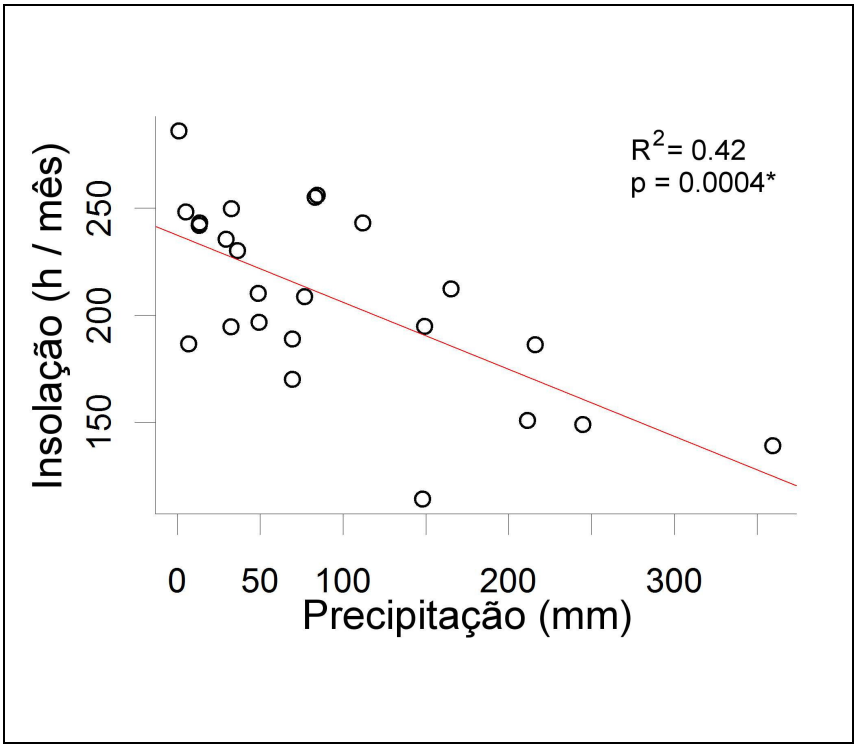
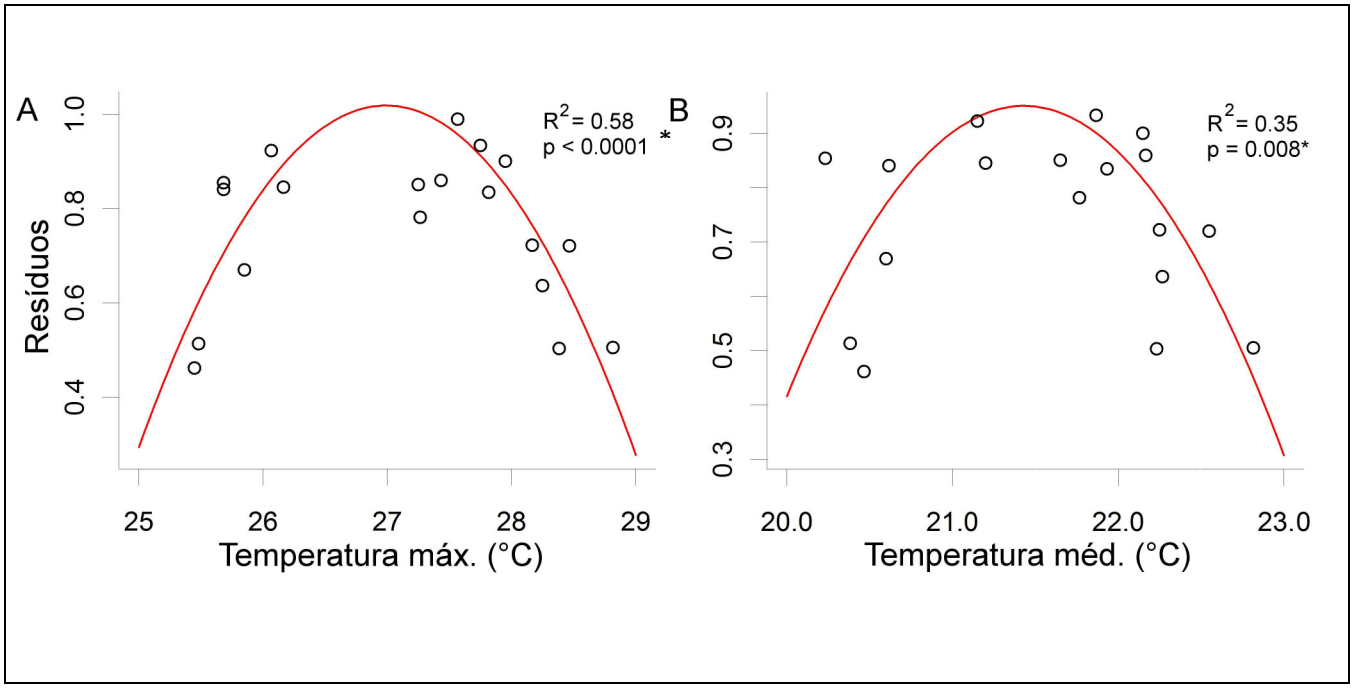


Figura 10 - Regressão linear entre insolação e a precipitação no local de coleta durante o mês de janeiro da estação de crescimento corrente.

Dentro da estação de crescimento, não foi encontrada uma relação linear entre o clima e o crescimento. A figura 11 mostra uma evidência de temperatura ótima para o crescimento da espécie no local nos meses de novembro e abril (estação de crescimento). Abaixo e acima da temperatura máxima de 27 °C ocorre uma diminuição no crescimento da espécie. Já entre 25°C e 27°C o crescimento aumenta progressivamente, declinando entre 27°C e 29°C.

Ainda na figura 11, a temperatura média ótima evidencia-se em 22 °C, com o crescimento aumentando dos 20°C aos 22°C e declinado entre 22°C e 23°C.



*α = 0,05

Figura 11 - Tendências não-lineares do crescimento devido ao efeito da temperatura máxima (A) e média (B) da estação de crescimento definida entre os meses de novembro a abril.

Discussão

O lenho de *Podocarpus lambertii* apresentou dificuldades na identificação dos seus anéis de crescimento, ocorrendo rotineiramente anéis confluentes, porém poucos falsos, que prejudicariam ou impediriam a datação correta em determinadas amostras devido a não permitirem a datação cruzada dentre os raios de um mesmo indivíduo ou entre diferentes. Dentre o total de raios obtidos da população estudada, cerca de 37 % não pode ser utilizado para a confecção da cronologia, resultando na necessidade de um grande número de indivíduos para o trabalho dendrocronológico.

Entretanto, mesmo com tais adversidades, foi possível se obter uma cronologia robusta com sensitividade e intercorrelação significativa de 73 anos para 19 indivíduos com idades variando entre 43 - 107 anos e média de 51,5. Para isso, foi importante a disponibilidade de 7 secções transversais (discos) de indivíduos diferentes, que permitiram uma visualização completa da dinâmica dos anéis de crescimento da população e elaboração de uma cronologia prévia, para posterior acréscimo das baquetas dos 12 indivíduos faltantes.

Ressalta-se que, embora tenham sido obtidas cronologias com mais de 100 anos de idade, como elas não estão bem representadas pela pequena quantidade de amostras mais antigas, utilizou-se a série dos anos de 1935 a 2008 (73 anos).

Estudos dendrocronológicos anteriores com o gênero *Podocarpus* também apresentaram dificuldades com construção das cronologias de anéis de crescimento. February & Stock (1998) trabalharam com duas espécies de *Podocarpus* da África do Sul, em um total de 14 indivíduos,

sendo 28 raios em 14 discos, e não obtiveram sucesso na construção de uma cronologia devido aos anéis confluentes, faltantes e de crescimento restrito a determinadas zonas do lenho. Esses resultados podem ter ocorrido pela falta de sazonalidade do clima local segundo os autores.

Vogel *et al*. (2001) estudaram um disco milenar de *Podocarpus falcatus* também na África do Sul e detectaram diversos anéis faltantes e falsos. Em análise dendroclimatológica de *Podocarpus lawrencei* na Austrália, McDougall *et al*. (2011), trabalharam com discos completos para construir uma cronologia de 114 anos, relatando problemas com a continuidade dos anéis nas secções e a impossibilidade de se analisar baquetas da espécie.

Na região Sul do Brasil, estudos anteriores com *Podocarpus lambertii* relataram dificuldades semelhantes na identificação dos anéis de crescimento, mesmo em locais de clima sazonal. Mattos *et al*. (2007) encontraram anéis irregulares e com deformações, parecendo pouco sensíveis às condições ambientais locais, enquanto Milani (2010) observou anéis de difícil identificação e regiões do lenho que pareciam se tratar de falsos anéis por não apresentarem continuidade necessária para caracterizar um crescimento anual, considerou também que a assimetria dos anéis se deve ao lenho de compressão pelo crescimento inclinado das árvores em busca de luz, já que é uma espécie semi-heliófita, ou seja, que necessita de um período de luminosidade reduzida e uma outra fase em que emergem no dossel e vão em busca de maior luminosidade. Salienta-se que o lenho de compressão também ocorre comumente na população alvo deste estudo em Morro do Chapéu.

Balboni (2008) trabalhou com os anéis de crescimento de outro gênero brasileiro de *Podocarpus, o P. sellowii* de uma população em

Juquitiba, Estado de São Paulo, e construiu uma cronologia de 43 anos com boa intercorrelação, embora também tenha relatado dificuldades com anéis confluentes e falsos nas amostras.

Além de *Podocarpus* no Brasil ocorre outro gênero de conífera, a *Araucaria* (Mainieri & Pires 1973), que foi objeto de estudos dendrocronológicos por Oliveira (2007) e, assim como *Podocarpus lambertii*, apresentou anéis de crescimento localmente ausentes e limites difusos que dificultaram a datação-cruzada, embora sem inviabilizá-la.

Com relação à anualidade dos anéis de crescimento de coníferas brasileiras confirmou-se a periódica formação anual do lenho observada pela literatura para coníferas (Schweingruber 1996; Oliveira, 2007; Pérez *et al.* 2009). Neste estudo foi corroborado utilizando duas metodologias: datação-cruzada e marcação cambial. Para a espécie em estudo, *Podocarpus lambertii*, ainda não havia sido realizado com êxito uma cronologia robusta e com representativo número de indivíduos amostrados.

Atualmente, a ocorrência principal de *P. lambertii* está no Sul do Brasil (entre 24° e 30° de latitude) e nas montanhas entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo associada a presença de araucárias (*Araucaria angustifolia*) (Ledru *et al.*, 2007; Oliveira, 2007; Milani, 2010). A manutenção desta diminuta população de Morro do Chapéu possivelmente está vinculada a condições microclimáticas específicas do local, já que a região apresenta atualmente uma vegetação adaptada a um clima mais seco e quente, a caatinga.

Comparando os registros dos anéis de crescimento do presente trabalho com o histórico de dados climáticos locais (INMET, 2011), percebeu-se uma boa sensitividade climática da população. Outros estudos

também apontaram a sensitividade do gênero *Podocarpus* com o clima, permitindo estudos dendroclimatológicos (Pérez *et al.,* 2009; McDougall *et al*., 2011).

Os resultados mostraram que durante o meio da estação de crescimento, entre dezembro e janeiro, quando as temperaturas médias são as mais elevadas do ano, o crescimento da espécie está negativamente correlacionado com o aumento da temperatura. Possivelmente isso ocorra devido à população estar localizada em uma zona limite de distribuição, onde as temperaturas desses meses são excessivas para a espécie, que possui sua zona central de distribuição em climas mais amenos conforme a figura 1(Carvalho, 2004; Ledru *et al*., 2007; Oliveira, 2007; Milani, 2010).

Como *Podocarpus lambertii* é uma conífera de ocorrência comum em locais frios do Brasil, apresentando fotossíntese do tipo C3, e plantas C3 mostram um queda linear no desempenho da fotossíntese quando a temperatura aumenta, esse fator pode prejudicar o desenvolvimento das plantas em Morro do Chapéu. O desempenho dos sistemas fotossintéticos das plantas C3 está na temperatura ótima entre 20°C a 25 °C, enquanto nas C4, entre 30°C a 40 °C (Buckeridge *et al*. 2008).

A precipitação do mês de janeiro, no meio da estação de crescimento, onde ocorrem os maiores índices pluviométricos, está negativamente correlacionada com o crescimento de *P. lambertii*, e esses dados são também negativamente correlacionados com a irradiação solar. A partir destas informações, pode-se inferir que devido ao maior tempo de clima nublado e menor insolação direta, ocorra uma limitação no crescimento nesta época.

Um fator a ser levado em consideração é a localização dos exemplares da população de Morro do Chapéu. O relevo local, um topo de elevação com inúmeros corredores de afloramentos rochosos de até 6 metros de altura onde os *Podocarpus* distribuem-se entre as rochas, pode ter influência no recebimento e necessidade de insolação direta, já que a incidência de luz solar nas árvores muitas vezes é diminuída pelas rochas e outras árvores. Nesse caso, meses com maior insolação e consequentemente menos dias de chuva podem promover um maior crescimento devido à maior taxa de irradiação entre os afloramentos.

Pérez *et al.* (2009) obteve resultados semelhantes com a insolação em estudo dendrocronológico de *Podocarpus nubigena* no Chile, que respondeu positivamente ao aumento da radiação solar para o crescimento. Os autores acreditam que isso se deva ao fato de a espécie ser tolerante ao sombreamento na fase jovem, onde normalmente se encontra no sub bosque.

A dendrocronologia da população de *P. lambertii* no sítio do estudo apresentou elevada idade perante seus diminutos diâmetros de tronco, mostrando taxas de crescimento lentas quando comparadas a populações mais meridionais, como levantado nos trabalhos de Mattos *et al.* (2007) e Milani (2010) no Sul do Brasil (vide tabela). Como exemplo, um exemplar de Morro do Chapéu apresentou 104 anos de idade e apenas 12 cm de diâmetro de tronco, enquanto nos estudos de Milani (2007) esse diâmetro é alcançado aos 34 anos de idade. Já no trabalho de Mattos *et al.* (2007) o incremento médio foi de 0,55 cm por ano, bem acima dos 0,089 cm de Morro do Chapéu.

Esse é um fator a ser levado em consideração sobre a necessidade de preservação da população local, já que a regeneração da espécie pode ser

lenta e dificultosa, e árvores de porte diminuto são ainda mais vulneráveis e fáceis de serem abatidas para extração de lenha, uma atividade comum e de subsistência na região que pode colocar em risco a sobrevivência desta população de grande importância ecológica.

Conclusão

A anualidade dos anéis de crescimento de *Podocarpus lambertii* foi confirmada nesta pesquisa, e a dendrocronologia da espécie demonstrou ser plenamente possível, com a elaboração de uma cronologia com intercorrelação e sensitividade robustas.

Os anéis de crescimento também apresentaram boa resposta ao clima local, mostrando ótimo potencial para futuros trabalhos com Dendroclimatologia. Os fatores climáticos que afetam negativamente o crescimento da população estudada são a precipitação e temperatura nos meses mais quentes e chuvosos (dezembro e janeiro), enquanto a irradiação solar dos meses mais secos promove.

Comparados a populações mais ao Sul do Brasil, os exemplares de Morro do Chapéu apresentaram um crescimento lento, com idades elevadas frente aos diminutos portes.

Capítulo 2 - Anatomia e reservas do lenho de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.

Ricardo Henrique Cardim[1] & Gregório Ceccantini[1]

[1] Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

Vegetais lenhosos podem acumular reservas em seu xilema secundário para crescimentos posteriores, e esses recursos estocados possibilitam a planta desenvolver-se mesmo em condições ambientais inadequadas. Para avaliar a dinâmica do xilema funcional e suas relações com os anéis de crescimento em uma população de *Podocarpus lambertii* no município de Morro do Chapéu, Bahia, amostraram-se 4 indivíduos para análise de condução e de suas reservas presentes no lenho. Para isso, os troncos principais de 4 indivíduos foram imersos em solução corante e expostos para transpirar ao ambiente na intenção de tingir as áreas de condução ativa. Outros 3 indivíduos tiveram secções do tronco amostradas para análise do conteúdo de amido nas células parenquimáticas do xilema. Os resultados mostraram que a condução ocorre principalmente nas regiões próximas a casca, sugerindo um provável alburno. Entretanto, a avaliação das reservas do xilema secundário mostrou uma ampla e homogênea distribuição dos recursos por todo o lenho, sugerindo uma grande capacidade de estocagem da espécie no local, chegando até o 33° ano de idade. Frente a isso, não foi possível verificar relações entre o incremento e as reservas, mas a safranina mostrou ser um corante eficaz na demarcação de um provável alburno na espécie, que é de difícil distinção.

Palavras-chave: xilema ativo, *Podocarpus lambertii*, condução de seiva, safranina.

Abstract

Woody plants accumulate reserves in their secondary xylem for further growth, and these stocked resources enable the plant to grow even in unfavorable environmental conditions. To evaluate the dynamics of functional xylem and its relationship to the growth rings in a population of *Podocarpus lambertii* in the city of Morro do Chapéu, Bahia, four individuals were sampled. For the analysis of conduction and reserves present in the wood, the main trunks of four individuals were immersed in dye solution and exposed evapotranspiration in nature environment in an attempt to dye the areas of active conduction. Other three individuals had trunk sections sampled for analysis of starch content in the xylem parenchyma cells. The results showed that the conduction occurs mainly in regions close to the bark, suggesting the existence a likely sapwood portions. However, the evaluation of the reserves of the secondary xylem showed a wide and homogeneous distribution of starch throughout the wood, suggesting a large storage capacity of the species on site, until reaching 33 years old. It was not already possible to verify the relationship between growth and reserves, but the safranin dyes method was proven to be effective in demarcation of a sapwoodlike portions difficult to distinguish for heart in natural view.

Key-words: xylem active, *Podocarpus lambertii,* conducting sap, safranin.

1. Introdução

Nas plantas terrestres é vital a condução de água de suas raízes para as folhas a fim de atender a demanda de transpiração e o transporte de seiva, (Umebayashi *et al*., 2008) sendo o xilema um tecido que possui, entre outras funções, a de realizar essa condução em vegetais lenhosos como as árvores.

O padrão de condução do xilema já foi estudado por muitos pesquisadores (Jimenez *et al*., 2000; Cermák *et al*., 2002) e pode estar relacionado a sua área ativa, determinando uma relação entre a presença de reservas e a condução de seiva no xilema vivo com o crescimento e formação de anéis.

Uma técnica tradicionalmente utilizada para avaliar a condução de seiva através do lenho é o uso de substâncias corantes que ao serem introduzidas ou colocadas em contato nas estruturas de transporte para transpiração demarcam as áreas condutoras do xilema, permitindo verificar as zonas de xilema ativo em determinado lenho. Essa metodologia foi aplicada por autores como Kozolowski & Winget (1963) Waisel *et al.,* (1972) Granier *et al.* (1994) Sano *et al*. (2005) e Umebayashi *et al*. (2007).

A condução de corantes auxilia no entendimento da relação entre a anatomia do xilema e o fluxo de seiva e é de grande importância para o conhecimento do crescimento e função das árvores, (Ellmore & Ewers, 1986).

O xilema também armazena carboidratos no parênquima, constituindo um "tecido-dreno" uma vez que ele estoca, na forma de amido, o carbono assimilado na folha, (a fonte) através da fotossíntese. Durante o período de repouso do vegetal e retomada do crescimento –

ativação do câmbio - esse tecido pode mobilizar as reservas amiláceas para outros tecidos. Então ele torna-se um tecido-fonte e é essencial para garantir a perenidade da planta. (Citadin 2006)

Um fator de forte influência na ativação do câmbio e no armazenamento de reservas do xilema é a sazonalidade. Alguns estudos com dendrocronologia detectaram essa relação entre reservas e ativação cambial. Locosselli (2010) pesquisando os anéis de crescimento de espécies de jatobá (*Hymenaea sp.*), detectou sinais climáticos da estação de crescimento corrente e da imediatamente anterior, sugerindo que as plantas do estudo acumularam reservas de carbono na estação de crescimento. Iwasaki-Marochi *et al* (2007), trabalharam com dendrocronologia de *Cedrela fissilis* e perceberam a correlação entre o crescimento radial do lenho e a precipitação anual de 4 anos anteriores a formação do anel.

Nos trópicos, a ativação do câmbio condicionada pela sazonalidade ocorre principalmente regulada pela disponibilidade hídrica, e é reconhecida como um fator abiótico crucial para a alocação de carbono (Davidson 1969). A ausência de água induz a grandes alterações nas relações fonte e dreno de carboidratos, modificando as prioridades de crescimento da planta e o desempenho de órgãos fotossintetizantes e estimulam a regulação do sistema de reservas (Roistch 1999).

O objetivo do presente trabalho é verificar anatomicamente o xilema ativo de *Podocarpus lambertii* quanto à presença de reservas, condução da seiva e respectiva idade dos indivíduos, de forma a contribuir no entendimento da dinâmica do xilema vivo e a formação de anéis de crescimento.

2. Material e Métodos

2.1 *Podocarpus lambertii*

P. lambertii, espécie alvo deste trabalho, é uma das poucas coníferas brasileiras. Tem a sua distribuição em duas áreas disjuntas, sendo a primeira entre 10°30' S a 11°35' S na Bahia, e a segunda entre 19°10' S em Minas Gerais a 31°20' no Rio Grande do Sul. Apresenta porte variável, com altura de 1 a 4 metros na zona campestre, e até 27 metros de altura e 120 cm. de DAP (diâmetro na altura do peito) quando no interior da floresta. (Carvalho 2004).

2.1 Local de coleta

As amostras foram coletadas no município de Morro do Chapéu, Estado da Bahia, Brasil. A população de *Podocarpus lambertii* estudada neste trabalho encontra-se em corredores formados por afloramentos rochosos areníticos no topo de uma elevação do relevo denominada "Morro da Antena", a 11°32' S de latitude e 41°08'O de longitude com altitude de 1200 metros. Esta elevação está cercada de vegetação de caatinga, que é predominante no município. Ressalta-se que o local de coleta representa o limite Norte de distribuição da espécie, que ocorre comumente nas regiões Sul e Sudeste brasileiras (Carvalho 2004).

No município predomina o tipo climático Cwb (Köppen 1948), tropical de altitude de verão brando, com temperatura média do mês mais frio (julho) inferior a 18 ºC e temperatura média do mês mais quente (janeiro) inferior a 22 ºC. A temperatura média compensada equivale a 19,7

ºC e a precipitação média anual geralmente é reduzida, em torno de 800 mm. (Rocha & Costa 1995)

O município de Morro do Chapéu, situa-se no norte da Chapada Diamantina sendo classificado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA como zona de extrema prioridade para conservação. Além de outras características, o município possui uma tipologia vegetal única de caatinga que não se encontra representada em nenhuma das outras Unidades de Conservação. (Maury 2002)

2.2 Material coletado e processamento – Reservas do xilema

Para a observação do conteúdo celular das células do xilema foram coletadas amostras do tronco principal de três indivíduos adultos (conforme descrito na Tabela 2.1) com o uso de serra de mão. Houve a preocupação de se abranger um mínimo de sete anéis de crescimento nas amostras para a avaliação da presença de reservas.

Tabela 1 - Número de coleta e dimensões dos exemplares amostrados, com altura e diâmetro na altura do peito (DAP).

Amostra	Altura (m)	DAP (cm)	Reservas	Infiltração	Idade (anos)
GC* 3398	5,5	5	x	x	44
GC 3399	4,9	3,2	x	x	41
GC 3400	3,2	4,5	x	x	17
GC 3401	4,4	2,5		x	48

*GC - nome de coleta de Gregório Ceccantini.

O material disponibilizado para avaliação das reservas do xilema foi imediatamente fixado após o corte em solução de Karnovsky (Kraus & Arduin, 1997) para a conservação do conteúdo celular e posterior processamento em laboratório.

O material foi cortado de forma a se obter um bloco com uma superfície transversal e longitudinal radial nítida, tentando-se preservar ao máximo a região de casca (câmbio) e todos os anéis de crescimento presentes na amostra. O material foi desidratado por série etanólica e incluído em historesina (Kraus & Arduin, 1997).

Após a finalização da historesina, os blocos com as amostras de madeira foram levadas a um micrótomo rotatório com lâmina de vidro para corte. Nesse momento houve uma grande dificuldade na obtenção de cortes

inteiros do material, já que este fragmentava-se facilmente e impossibilitava a montagem de boas lâminas para observação microscópica.

Com o insucesso do processo de historesina, passou-se a outro método, a infiltração e inclusão das amostras em polietilenoglicol - PEG (Richter, 1985).

Com os blocos de PEG prontos, levou-se o material para corte em micrótomo de deslize com lâmina de aço, e o lenho de *P. lambertii* apresentou novamente dificuldade para corte. Entretanto, alguns cortes saíram inteiros ou parcialmente inteiros, utilizando-se antes uma fita adesiva sobre a superfície do bloco de madeira após esta ter sido embebida em acetato de butila e isopor diluído (Barbosa 2010), evitando assim a fragmentação excessiva durante a passagem da lâmina, o que permitiu alguns cortes passíveis de serem montados em lâminas para observação em microscopia de luz.

As lâminas para microscopia foram desidratadas por série etanólica, tomando-se o cuidado de não clarificá-las com água sanitária, a fim de evitar prejuízos ao conteúdo celular e montadas em lâminas permanentes com bálsamo-do-canadá.

Outro procedimento realizado com os cortes preparados com o uso do micrótomo foi a aplicação de reagente lugol para identificar as reservas de amido presentes nas células, sendo posteriormente montados em lâminas.

O reagente lugol também foi aplicado na superfície transversal polida de secções do lenho (discos) de 3 indivíduos para a demarcação da

presença de amido nas células parenquimáticas dos anéis de crescimento, de forma a se obter uma visão geral das reservas, do câmbio a medula.

2.3 Material coletado e processamento – Condução do xilema

Um total de quatro indivíduos adultos foi serrado a uma altura de 50 cm do solo com a serra imersa em água a fim de evitar embolismos. Para isso, um vasilhame foi fixado no tronco repleto de água e com uma serra nova e bem afiada o tronco foi seccionado (Ellmore & Ewers 1986; Cermák *et al.* 2002; Umebayashi *et al.* 2008). O número de coleta e dimensões dos exemplares amostrados estão dispostos na Tabela 1.

Imediatamente após o corte, a parte exposta com a copa foi levada a outro recipiente com água. Uma fração de 10 cm do tronco próxima ao corte foi seccionada com a mesma serra a fim minimizar a entrada de ar e obliteração das traqueídes e, logo após, com uma lâmina nova, realizaram-se cortes a fim de remover eventuais rebarbas e serragem, aumentando a possibilidade de absorção do corante pelo xilema, sendo posteriormente o tronco imerso em safranina a 0,2% para demarcar o padrão de condução de seiva do xilema (Ellmore & Ewers 1986).

As árvores seccionadas ficaram expostas ambientalmente durante um período aproximado de 24 horas, com um tempo quente, ensolarado e de ventos fortes, propício à transpiração vegetal. Houve acompanhamento constante do nível de corante nos frascos, completando-os conforme necessidade. No término do período, as amostras do tronco principal foram cortadas em secções de um metro.

No laboratório, as amostras foram cortadas em uma serra de fita em intervalos de 0,5 cm desde a base de contato com o corante até o desaparecimento de sinais visíveis deste.

Em seguida, foram aderidas em tábuas de madeira e numeradas. Receberam polimento com lixas de granulação 50 até 2000, sob água corrente, até que as traqueídes ficassem facilmente visíveis.

2.4 Análises de condução da safranina no xilema funcional

Com o auxílio de um estereomicroscópio (Leika) (Umebayashi *et al.* 2008) foram traçados em lapiseira grafite 0,5 mm quatro raios da medula à casca em todos os discos, evitando áreas com anéis faltantes, confluentes e de lenho de compressão. Passou-se então a marcação dos anéis anuais em todos os raios das amostras e todos os discos medidos foram fotografados.

Posteriormente, o número de anéis tingidos por safranina foi contabilizado por raio a partir do câmbio em direção a medula e atrelados aos anos de crescimento. O total de anéis tingidos por raio foi comparado entre os discos a cada intervalo de 0,5 cm ao longo de 10 cm de extensão do lenho, desde a base de contato com a safranina até inexistirem, por completo, vestígios de corante. Com isso, obteve-se um panorama da condução de corante em toda a extensão de 10 cm de quatro raios pelo lenho do indivíduo.

2.5 Análises anatômica das reservas nos anéis de crescimento do xilema

Com as lâminas montadas em bálsamo-do-canadá, o material foi analisado através de microscopia por luz. Procurou-se observar a presença de amido e protoplasto no interior das células do parênquima, partindo-se da casca em direção a medula, tanto em cortes transversais quanto em tangenciais longitudinais e radiais. Como indicador, o amido foi perceptível a partir de aumentos de 5, caracterizado por preenchimento no interior das células parenquimáticas de elementos globosos de coloração marrom-escuros, mais facilmente visualizados com objetiva de aumento 40 junto ao protoplasto.

As lâminas com cortes tingidos de lugol foram analisadas através de microscopia de luz. Procurou-se observar a presença de amido e protoplasto no interior das células do parênquima, partindo-se da casca em direção a medula, caracterizadas por coloração arroxeada-intensa, sendo facilmente perceptíveis os grânulos de amido a partir de objetiva de aumento 20.

Com a aplicação de lugol diretamente nas secções transversais do lenho polido (discos) as células parenquimáticas com presença de amido apresentaram coloração arroxeada intensa, analisadas junto aos anéis de crescimento do câmbio a medula com o auxílio de um estereomicroscópio (Leika).

3. Resultados e Discussão

As figuras 1 a 3 mostram os resultados referentes as infiltrações de safranina no xilema. O padrão entre os diferentes indivíduos foi aproximadamente o mesmo. Como exemplo, na figura 01 nota-se que na base, todos os anéis foram infiltrados pelo corante, desde o câmbio, até a medula, o que deve ser apenas um efeito da capilaridade. É possível observar nos diversos raios estudados que as secções mais basais (discos) de 0,5 cm a partir da superfície do tronco em contato com a safranina apresentaram intenso tingimento em toda a superfície do xilema, desde o câmbio até a medula nos 4 indivíduos e, conforme o distanciamento aumentava, o tingimento regredia em direção ao câmbio, restringindo-se principalmente nos anéis de crescimento mais recentes.

Cermák *et al*. (2002) obtiveram também que em curtas distâncias do contato da extremidade do tronco com o corante, o tingimento foi em toda a extensão do lenho. Porém, essa grande extensão pode não estar relacionada diretamente à condução por parte do xilema ativo, e sim influenciada por simples perfusão (Umebayashi *et al*. 1997).

Na figura 01, por exemplo, nota-se que houve ascensão do corante até o ano mais interno (22), e a medida que se distancia da base, um menor número de anéis está corado. A cerca de 3,5 cm. da base, apenas anéis dos últimos 4 anos se encontravam corados, portanto, conduzindo corante.

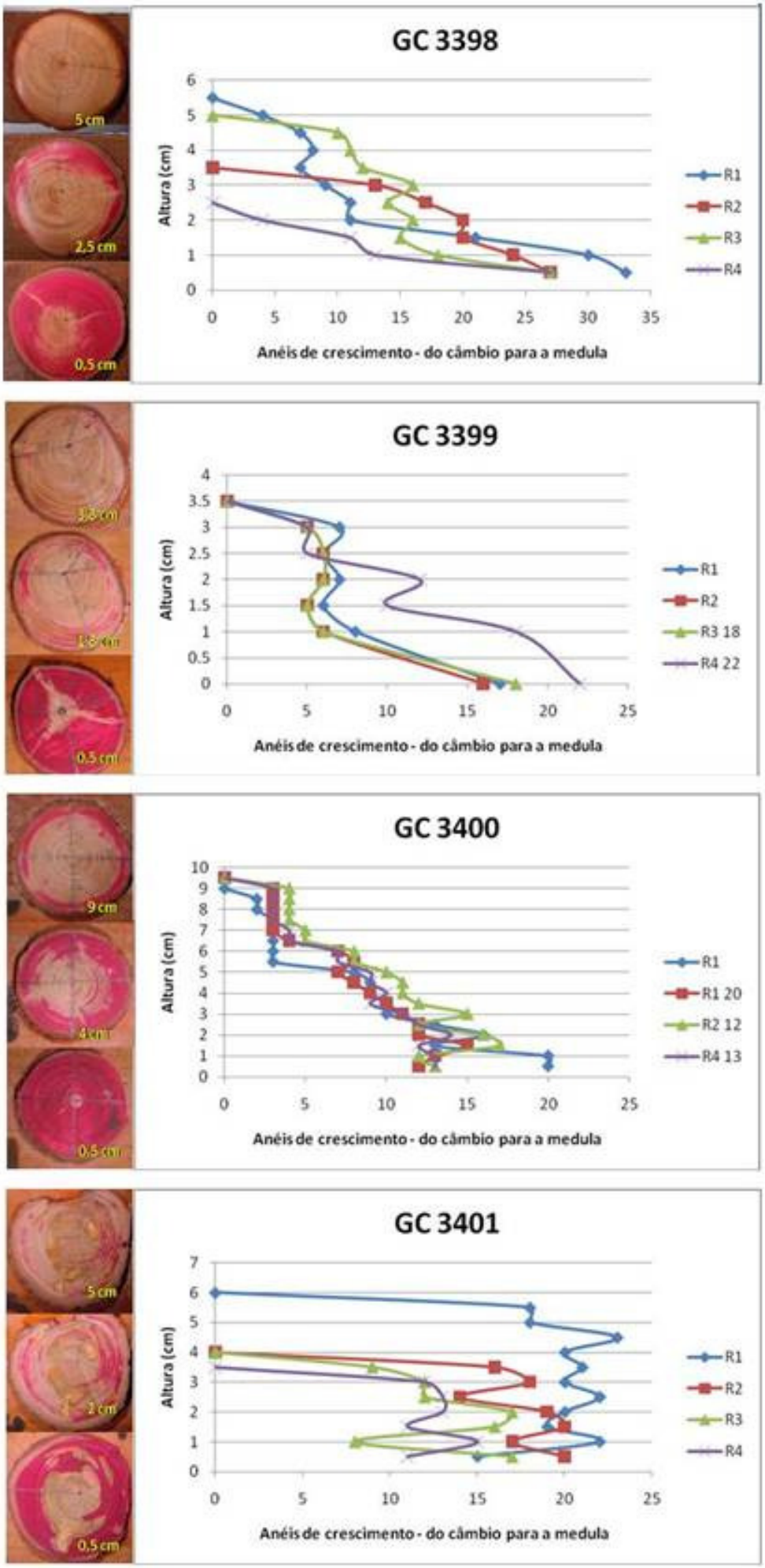


Figura 1 A,B,C e D - Condução de safranina através de 4 raios (R1, R2, R3 e R4) em secção de 10 cm do lenho. No lado esquerdo, exemplos dos padrões de tingimento nos discos.

Após o limite máximo de 10 cm de distância da secção imersa em corante, não havia mais sinais de tingimento no lenho, ocorrendo uma menor condução, provavelmente devido às diferenças anatômicas do lenho de *P. lambertii*, que apresenta condução através de traqueídes, comparativamente menores e menos eficientes em transporte que os vasos de angiospermas (Ewers, 1985; Wiiligen *et al*., 1999).

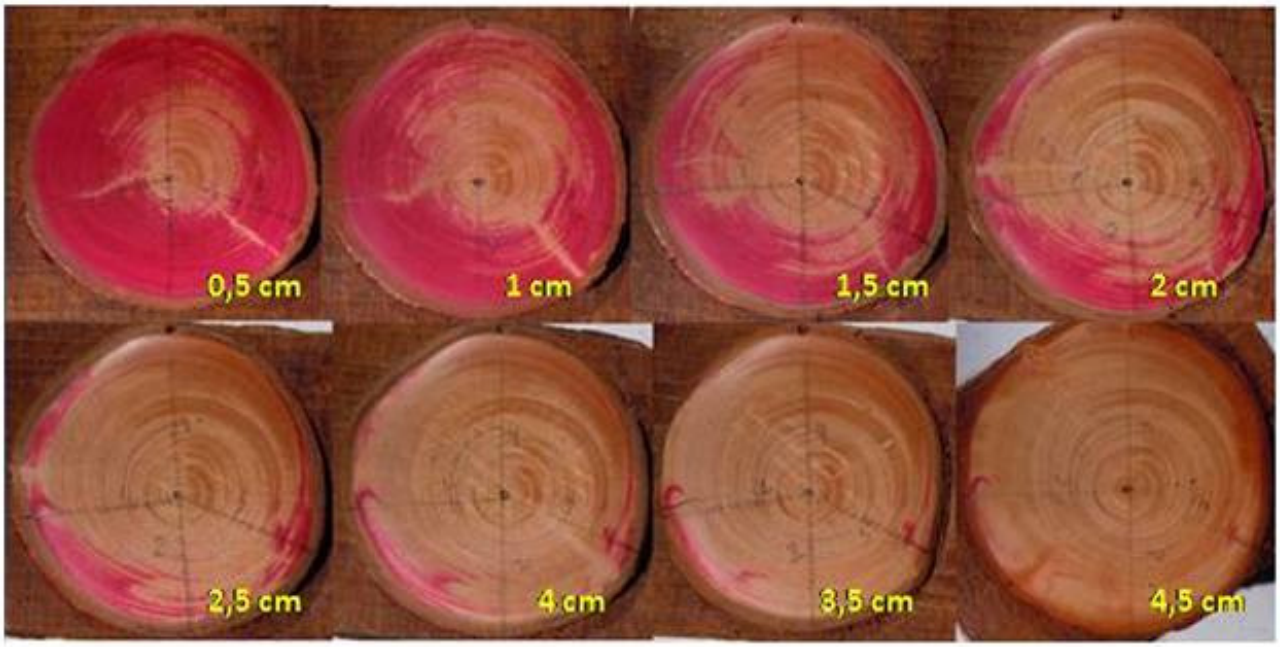
Outra possibilidade é o fato de a safranina se aderir às paredes das traqueídes após uma curta distância e ter restringido a eficácia do tingimento, devido a estar eletricamente positiva e ser atraída pelas paredes com carga negativa, assim como relatam Granier *et al.,* (1994) e Sano *et al*., (2005), porém, diversos estudos também utilizaram a safranina como corante para a análise de condução (Umebayashi *et al*., 2007; Wiiligen *et al*., 1999, Sano *et al*., 2005).

Os resultados comparados a pesquisas como a de Umebayashi *et al*., (2008) mostram uma menor difusão do corante em extensão. Em espécie arbórea temperada de anel semi-poroso, nos dez centímetros acima da área de contato do tronco com o corante, ocorreu o tingimento de 3 a 25 anéis de crescimento mais externos (próximos ao câmbio) o que não aconteceu com *P. lambertii*. Vale ressaltar que a anatomia do xilema de espécies de anel semi-poroso apresenta vasos de grande calibre principalmente no lenho inicial, com maior eficiência na passagem de seiva que a gimnosperma em estudo.

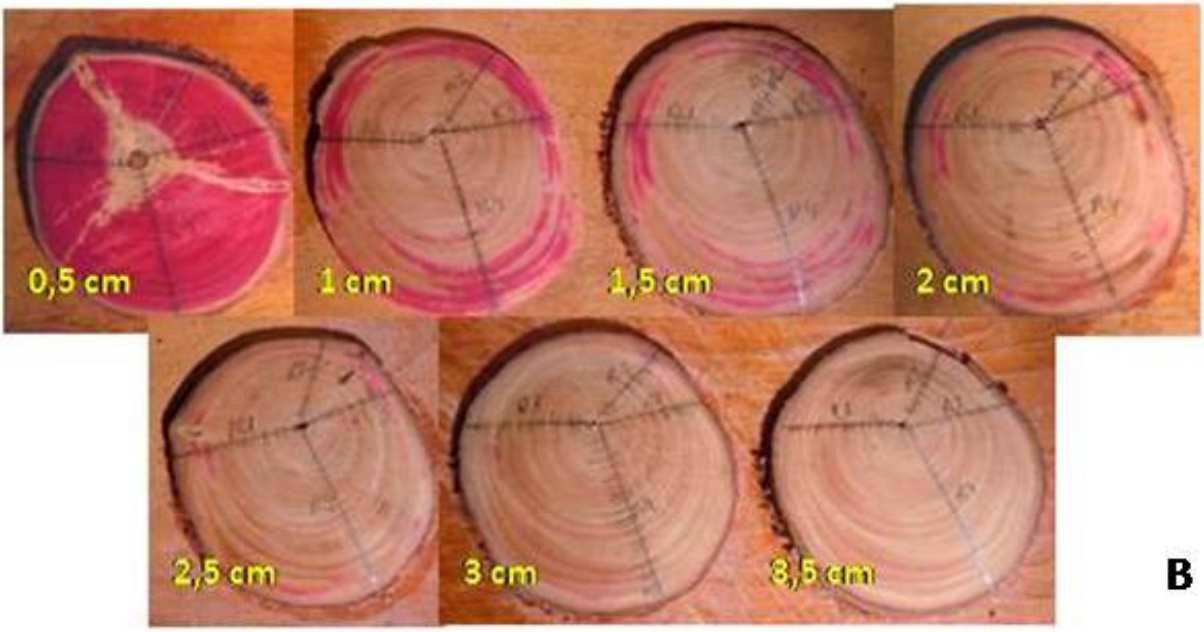
Neste estudo de condução de corante, fica nítido que a parte de xilema próximo ao câmbio é muito mais ativa que a porção medular, apresentando resultados semelhantes aos de Cermák *et al*., (2002) e Sano *et al*., (2005). Outro aspecto que reforça a afirmação anterior é o fato de o anel de crescimento mais próximo ao câmbio (casca) ser o que demonstrou

um tingimento mais persistente em todas as secções coradas (Granier *et al*. 1994). Em uma pesquisa conduzida por Ellmore & Ewers (1986) também se obteve resultado semelhante. Os autores removeram o anel de crescimento mais externo (próximo ao câmbio) e ocorreu uma queda dramática na condução (92% do total) restringindo a 8% para o restante do lenho, podendo ocorrer algo semelhante com *P. lambertii*.

Observando as séries de discos das figuras 2 e 3 observa-se facilmente que a espécie em estudo apresenta uma tendência na condução de seiva no lenho dos anéis de crescimento mais recentes, possivelmente sendo esta área o alburno, ou xilema ativo, já que não é possível a distinção visual entre o este e o cerne. Kozlowski & Winget (1963) ao injetarem corantes em gimnospermas também perceberam uma condução de maiores proporções no alburno.

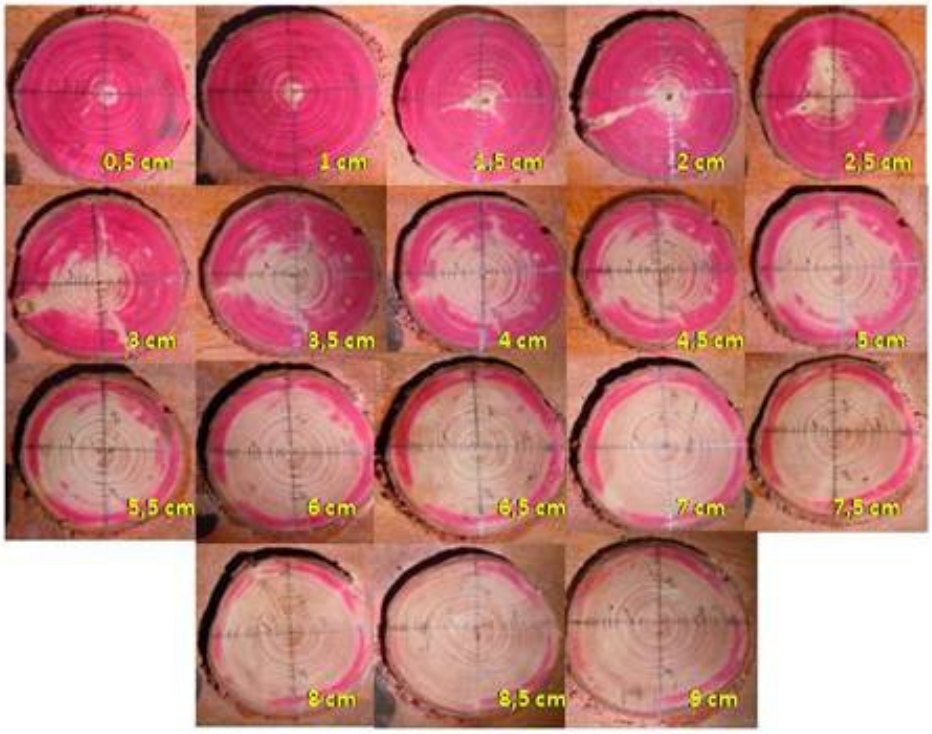


A

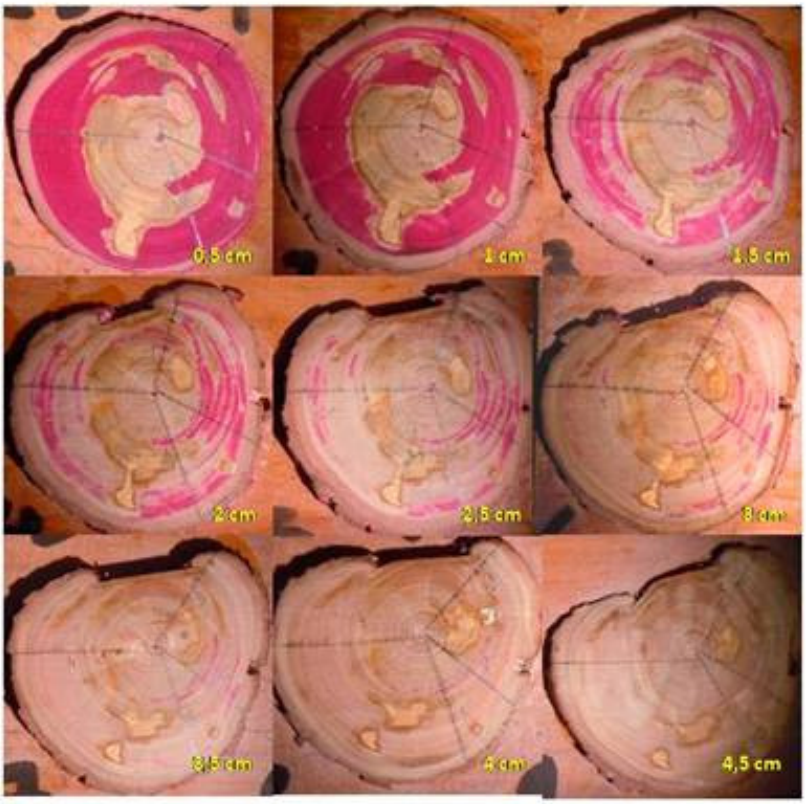


B

Figura 2. A - Indivíduo GC 3398 e B - GC 3399 - discos seccionados e polidos com os 4 raios e seus respectivos anéis de crescimento assinalados, mostrando a infiltração de safranina.



A



B

Figura 3. A - Indivíduo GC 3400 e B - GC 3401 - discos seccionados e polidos com os 4 raios e seus respectivos anéis de crescimento assinalados, mostrando a infiltração de safranina.

Entretanto, na análise do amido ou reservas celulares, apresentado nas figuras 4 a 7, este pareceu estar presente e distribuído igualitariamente em toda a extensão de xilema avaliado microscopicamente, desde o câmbio até a medula, no interior das células do parênquima, não permitindo correlacioná-lo somente ao xilema condutor e identificá-lo como marcador do xilema ativo. Na figura 4 a 6 observa-se o amido na forma de grânulos no interior das células parenquimáticas. Já na figura 7, o amido foi tingido com lugol.

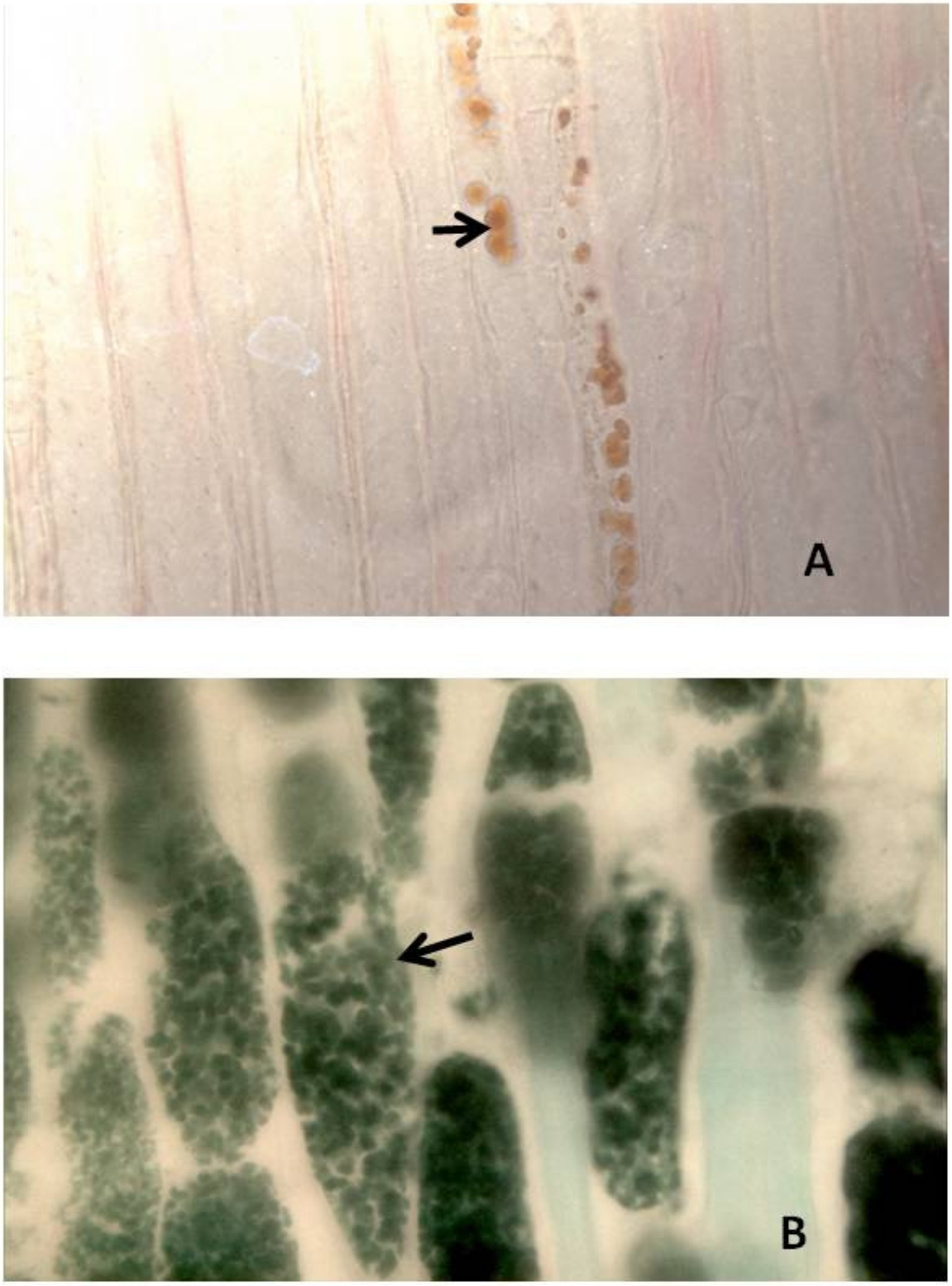


Figura 4. A - Corte longitudinal radial do xilema (40x) seta indica grânulos de amido. B - Corte longitudinal radial da casca (40x) seta indica grânulos de amido dentro de célula.

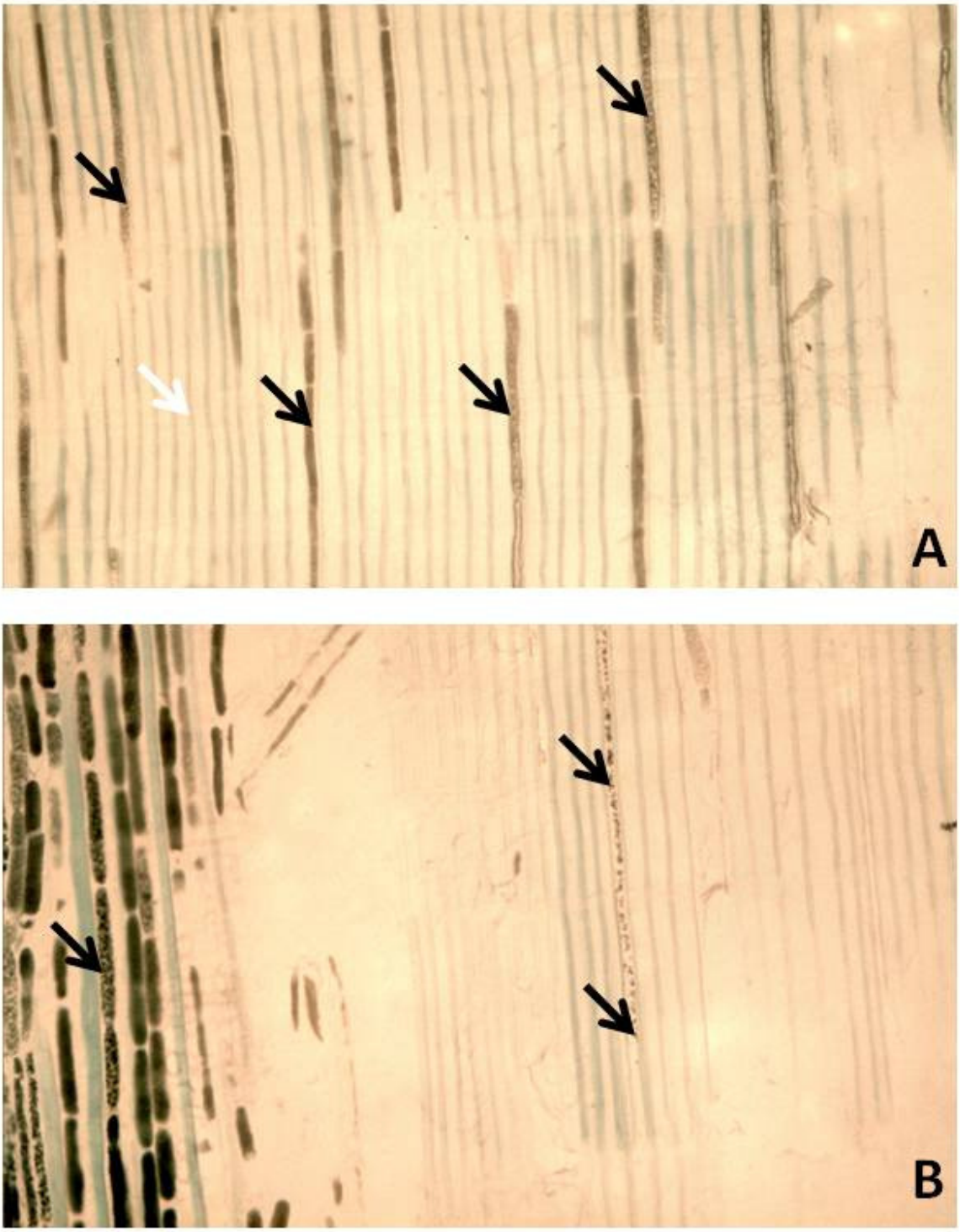


Figura 5. A - Corte longitudinal radial (10x) com a presença de grânulos de amido (setas) entre os anéis de crescimento (seta branca). B - Corte longitudinal radial (10x) abrangendo a casca e o xilema. Grânulos de amidos (setas).

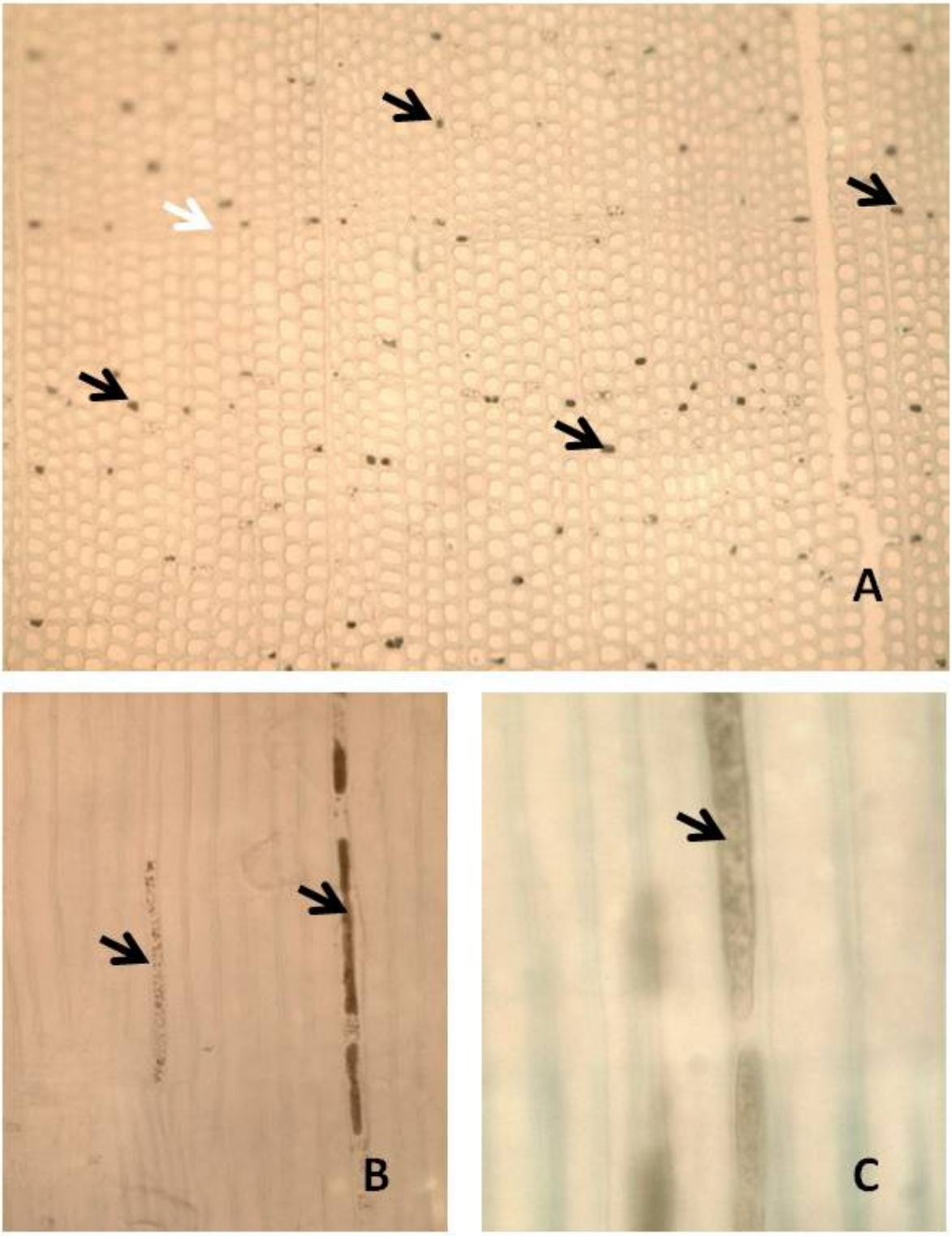


Figura 6 - Corte transversal (10x) com a presença de grânulos de amido (setas) entre os anéis de crescimento (seta branca). B - Corte longitudinal radial (10x) – setas indicam o amido. C - Corte longitudinal radial (40x) – seta indica o amido.

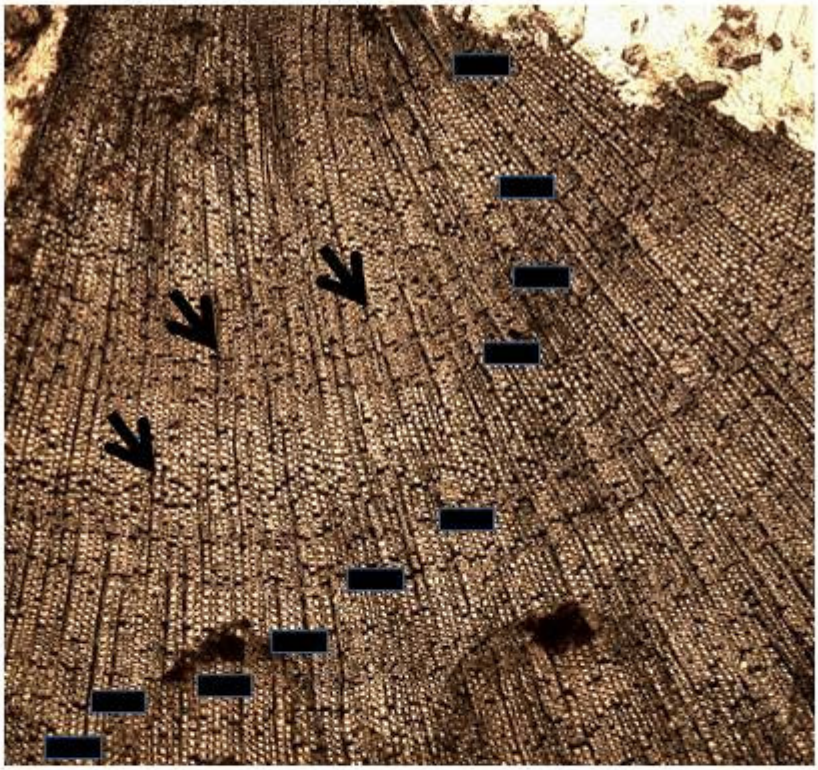


Figura 7. A -Corte longitudinal radial (40x) células parenquimáticas com a presença de grânulos de amido tingidos por lugol (setas). B -Corte transversal (5x) com setas apontando células parenquimáticas portadoras de amido tingidas por lugol e traços assinalando os anéis de crescimento.

Resultados similares também foram encontrados por Barbaroux & Breda (2002) ao investigarem a distribuição radial de carboidratos no xilema de faia (*Fagus sylvatica*), diferente do que foi observado em carvalho (*Quercus petraea*), onde somente os 8 - 10 anéis mais recentes apresentavam reservas.

A quantidade de amido presente tanto no lenho inicial quanto no lenho tardio dos anéis de crescimento anuais não possibilitou avaliar a influência da sazonalidade no armazenamento deste recurso. Em ambas situações a distribuição de células de parênquima com reservas sugerem homogeneidade no alocamento pela planta no xilema, o que pode significar energia disponível para auxiliar no crescimento e formação de novos anéis oriundos deste estoque, independente de condições ambientais favoráveis. Esse mecanismo deve existir principalmente na parte condutora ativa de *P. lambertii*, o alburno, onde as reservas ainda são acessíveis. Ressalta-se que não foi possível identificar o cerne, parecendo a totalidade do lenho ser formado por alburno nas amostras avaliadas. Este alburno pode alcançar dimensões consideráveis, mesmo com o maior predomínio da condução de seiva nas áreas próximas ao câmbio, conforme obtido em algumas amostras que tiveram grande extensão do lenho tingido, alcançando até o 33° anel de crescimento tingido, ou 33 anos de crescimento, o que sugere uma longa vida condutora ao tecido.

Dessa forma, a condução de corante, mesmo com as limitações de condução do corante safranina a 0,2%, se mostrou um marcador efetivo na demonstração da porção de xilema ativo ou alburno de *P. lambertii*.

Conclusão

A condução de corante safranina no lenho de *P. lambertii* apresentou resultados que sugerem uma zona mais ativa de transporte de seiva próxima a casca, caracterizando um provável alburno, já que a diferenciação entre este e o cerne não é visivelmente possível.

Com relação às reservas do xilema ativo, estas se mostraram presentes em toda a extensão do lenho estudado, até o 33° ano de idade. Aparentemente não ocorreu concentração de amido em determinadas áreas do xilema secundário, sugerindo homogeneidade na distribuição deste recurso pelo lenho.

Frente aos resultados, também não foi possível determinar relações entre a formação dos anéis de crescimento da espécie e o acúmulo de reservas para posterior disponibilização em época não propícia ao crescimento

Considerações Finais

Podocarpus lambertii mostrou-se ser uma espécie apta aos estudos dendrocronológicos, com anéis de crescimento anuais e capazes de serem intercorrelacionados com boa sensitividade. Também registrou as variáveis climáticas em seu lenho, permitindo estudos dendroclimáticos.

A escolha da população de Morro do Chapéu, no Estado da Bahia, para ser amostrada trouxe possibilidades diferentes a este estudo por estar localizada em uma zona limite de distribuição da espécie, em um local refúgio, onde os indivíduos distribuem-se em uma área restrita e de relevo diferenciado, com formações rochosas que promovem um aparente microclima e condições favoráveis a sua manutenção, mesmo distante das condições ideais da ocorrência de *P.lambertii* encontradas mais ao sul do continente.

Os resultados obtidos através da comparação das larguras dos anéis de crescimento com os dados climáticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia refletiram uma possível estratégia para o crescimento da espécie em condições aparentemente não-ideais, com a diminuição do crescimento nos meses de maior temperatura, que parece ser excessiva no local se comparado as regiões tradicionais de ocorrência atual da espécie. A obtenção de temperaturas possivelmente ideais para o crescimento no local, com máxima (27°C) e média (22°C) na estação de crescimento (novembro a abril) mostram isso. Isso também parece ser resultado da inibição da fotossíntese de *P.lambertii* por temperaturas elevadas, já que a espécie é uma conífera, originária de locais com temperaturas mais amenas, apresentando fotossíntese do tipo C3.

Outra informação interessante foi a influência negativa no crescimento de *P. lambertii* nos meses de maior precipitação, que se observada junto a influência positiva da insolação, permite inferir um efeito negativo do aumento de nuvens durante as chuvas e consequentemente menor quantidade de luz solar para o seu desenvolvimento. Esse fato, avaliado em conjunto com as condições físicas do local, que apresenta grande filtragem da incidência de luz solar pelas formações rochosas e outras árvores sobre a população auxiliam também nessa percepção.

A elevada idade dos indivíduos se comparada aos seus diminutos diâmetros de tronco mostraram um crescimento lento da população em geral, com indivíduos de até 12 cm. de diâmetro na altura do peito (DAP) e 104 anos de idade, e baixo incremento médio em diâmetro, de 0,089cm por ano, podendo esse fato ser resultado de ser uma zona limite de distribuição para a espécie.

A análise do xilema de *Podocarpus lambertii* com relação as suas reservas resultou na observação da aparente não-ocorrência do acúmulo destas em determinados anéis de crescimento e suas possíveis relações com incrementos posteriores, já que nas amostras estudadas, toda a extensão do lenho possuía células parenquimáticas portadoras de reservas entre as traqueídes de uma forma praticamente homogênea, sugerindo um intenso acúmulo de energia pela planta, mesmo nas condições adversas em que a população se encontra.

Com relação ao estudo da condução em 4 indivíduos, as informações obtidas possibilitaram a detecção de um provável alburno, com a condução ocorrendo principalmente nos anéis mais recentemente formados, mas não foi possível estabelecer relações com as reservas estocadas no xilema e nem a visualização dos limites entre cerne e alburno.

A população de *Podocarpus lambertii* no Morro da Antena, em Morro do Chapéu, Bahia, apresentou características diferenciadas se comparadas a outras populações mais meridionais, como elevada idade e pequenas taxas de incremento, mostrando a importância da preservação do local. A isso, soma-se também o fato de ali ser um raro refúgio da espécie possivelmente remanescente de expansões e retrações pretéritas de *P.lambertii* no continente sul-americano.

Conclusões Gerais

- Foi possível a construção de cronologia com *Podocarpus lambertii*.
- Os anéis de crescimento da espécie são influenciados pela temperatura, precipitação e insolação.
- O xilema de *P. lambertii* acumula reservas nas células parenquimáticas dentro dos anéis de crescimento em toda a sua extensão do lenho.
- A condução de seiva no xilema parece estar associada principalmente aos anéis de crescimento mais jovens.

Resumo geral

A dendrocronologia constitui-se no estudo dos anéis de crescimento e sua sequencia cronológica, que pode trazer importantes informações a respeito do crescimento dos vegetais lenhosos e seu ambiente. No presente trabalho foram analisados os anéis de crescimento de *Podocarpus lambertii* em uma população situada em sua zona limite de distribuição, no município de Morro do Chapéu, estado da Bahia. O local apresenta condições diferenciadas, sendo uma elevação em meio a caatinga com afloramentos rochosos que formam estreitos corredores onde os exemplares da espécie se distribuem. Através da dendrocronologia foi construída uma cronologia de 73 anos com 19 indivíduos e 43 raios da população, comprovando a anualidade dos anéis da espécie e sua capacidade de intercorrelação e boa sensitividade, embora a presença de anéis confluentes e falsos tenha ocasionado dificuldades na datação. Essa cronologia é a primeira realizada com *P. lambertii*. Os resultados mostraram um lento desenvolvimento da espécie no local, como no exemplo de um indivíduo de apenas 12 cm de diâmetro de tronco e 104 anos de idade. Com relação ao clima, os anéis apresentaram grande influência deste fator, com o crescimento sendo negativamente influenciado pela temperatura e precipitação na estação de crescimento (novembro a abril) e positivamente pela insolação. Na avaliação das reservas presentes no xilema de *P. lambertii*, os resultados mostraram uma distribuição aparentemente homogênea por todo o lenho, não permitindo relacioná-las diretamente com a formação dos anéis de crescimento, sugerindo grande capacidade de acúmulo de reservas pela árvore. A análise da condução de seiva pelo xilema ativo permitiu identificar que os anéis de crescimento mais jovens (próximos ao câmbio) são os maiores responsáveis pela condução, em um possível alburno, já que esta diferenciação não é obtida visualmente.

Abstract

Dendrochronology is the study of growth rings and their chronological sequence, which can provide important information about the growth of woody plants and their environment. In this study we analyzed the growth rings of *Podocarpus lambertii* in a population located in its Northern limit distribution at the county of Morro do Chapeu, State of Bahia. The place presents peculiar conditions, with an elevation between rocky outcrops that forms narrow corridors where the specimens are distributed. It was built a chronology of 73 years with 19 individuals and 43 rays of the population, confirming the annuality of species rings and its intercorrelation and good sensitivity. In spite of that, the presence of false or confluents rings caused difficulties in dating. This chronology is the first performed with *P. lambertii*. The results showed a slow development of the species in this place, as in the case of an individual of only 12 cm in trunk diameter and 104 years old. With regard to atmosphere, the rings had great influence of this factor, with growth being negatively influenced by temperature and precipitation in the growing season (November-April) and positively by the insolation. The evaluation of reserves inside in the xylem of *P. lambertii*, the results showed an apparently homogeneous distribution across the wood, not allowing them to be correlated relate directly to the growth rings, formations, this suggests a great capacity to accumulate reserves in the tree. The analysis of conductive xylem identified that the younger growth rings (close to the cambium) are the most important for conduction,so a sapwoodlike portions is present, instead it is not morphologically distinguishable.

Bibliografia

Alves, E.S., Angyalossy-Alfonso, V. 2000, Ecological trends in the wood of some Brazilian species 1: growth rings and vessels. IAWA Journal 21, 3-30.

Argollo, M., Soliz, C., Villalba, R., 2008, Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes centrales de Bolivia. Ecol. Bol. 39, 5–24.

Balboni, B. 2008. Anatomia Ecológica e dendrocronologia de *Podocarpus sellowii* Klotz. Relatório PIBIC - Instituo de Biociências da Universidade de São Paulo.

Barbaroux, C., Bréda, N. 2002, Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. Tree Physiology. V. 22.

Barbosa, A. 2011, Técnica de preparação de lâminas com cortes de madeira íntegros (comunicação pessoal).

Botosso P.C., Mattos, P.P. 2002. A idade das árvores: importância e aplicação. Colombo: Embrapa Florestas. 25p.

Brandes, A. F. N., Lisi, C. S., Barros, C. F. 2011,Dendrochronology of lianas of the Leguminosae family from the Atlantic Forest, Brazil. Trees v.25:133–144.

Buckeridge, M. S., Yepes, A., de Souza, A., Marabesi, M., Tonini, P. P. 2008, Comparação entre os sistemas fotossintéticos C3 e C4. Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

Burger, L. M., Richter, H.G. 1991, Anatomia da Madeira. Livraria Nobel, 15-23.

Callado C. H., Guimarães, R. C. 2010, Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. Rev. bras. Bot. vol.33 no.1.

Carvalho P. E. R. 2004, Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Colombo, Paraná. Volume 1.

Cermák. J., M., Jiménez, S., González-Rodríguez, A. M., Morales, D. 2002, Laurel forests in Tenerife, Canary Islands II. Efficiency of the water conducting system in Laurus azorica trees. Trees, v. 16:538–546.

Citadin, I. 2006, Ação do frio na mobilização das reserves amiláceas durante o período da dormência e consequências da falta de frio. Workshop Internacional sobre adaptação de plantas frutíferas de clima temperado em regiões subtropicais. Embrapa documentos.

Corona, E. 1986, Dendrochronologia: principi e applicazioni. Verona: Istituti Italiano di Dendrochronologia, 103 p. Atti del Seminario tenuto a Verona nei giorni 14 e 15 novembre 1984.

Davidison, R. L. 1969, Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratio in Lolium perene L. and Trifolium repens. Annals Bot.. N. 33, p. 571-77.

Détienne, P. 1989, Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. IAWA Bulletin, Leiden, v. 10, n. 2, p. 123-132.

Enquist B. J. Leffler A. J. 2001, Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. Journal of Tropical Ecology, 17, 41–60.

Ellmore, G. S., Erwers, F. W. 1986, Fluid Flow in the Outermost Xylem Increment of a Ring-Porous Tree, Ulmus Americana. American Journal of Botany, Vol. 73, No. 12, p. 1771-1774.

Ewers, F. W. 1985, Xylem structure and water conduction in conifer trees, dicot trees, and lianas. Iawa Bulletin, v. 06, n. 04.

February, E. C. & Stock, W. D. 1998, An assessment of the dendrochronological potential of two *Podocarpus* species. *The Holocene* 8 pp. 747–750

Granier, A., Anfondillo, A., Sabattl, A., Cochard, H., Dreyer, E., Tomas, M., Valentini, R., Breda, N. 1994, Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. Tree Physiology 14, 1383-1396.

Holmes, R. L. 1983, Computer-assisted qulity control in tree-ring dating and measurement. Tree ring bulletin, 43, 69-78.

Hughes M. K. 2002, Dendrochronology in climatology—the state of the art. Dendrochronologia 20:95–116

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2011.

Iwasaki-Marachi, C., Muniz, G.I.B. Seitz, R.A. Ceccantini, G.C.T. 2007, Potencial dos anéis anuais de crescimento do cedro (Cedrela fissilis – Meliaceae) para dendrocronologia. Livro de resumos do I Simpósio Brasileiro de Anatomia da Madeira.

Jimenez, M.S., Nadezhdina, N., Èermák J., Morales D. 2000. Radial variation in sap flow in five laurel forest tree species in Tenerife, Canary Islands. Tree Physiol. 20:1149–1156.

Junqueira M. E. R., Simão-Bianchini, R. 2006, O Gênero *Evolvulus* (Convolvulaceae) no Município de Morro do Chapéu, BA, Brasil. Acta Botanica Brasilica 20: 157-172.

Koppen, W. 1948, Climatologia. México, Ed. Fondo de Cultura Económica.

Kozlowski, T. T., Winget C. H., 1963, Patterns of Water Movement in Forest Trees Botanical Gazette, Vol. 124, No. 4 (Jun., 1963), pp. 301-311.

Kraus, J. E., Arduin, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. EDUR, Seropédica – RJ, Brasil.

Ledru, M.P., Salatino, M.L.F., Ceccantini, G. Salatino, A., Pinheiro, F., Pintaud, J.C. 2007, Regional assessmennt of the impact of climatic change on the distribuition of a tropical conifer in thr lowlands of South America. Biodiversity Research, pp 1-11.

Lisi, C. S., Tomazello, M., Botosso, P. C., Roig, F. A., Maria, V. R. B., Ferreira - Fedele, L., Voigt, A. R. A. 2008.Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in Southeast Brazil. IAWA Journal, Vol. 29 (2), p. 189-207.

Locosselli, G. M. 2010, Análise integrada de dendrocronologia, anatomia e isótopos estáveis de carbono de duas espécies de jatobá (*Hymenaea*, LEGUMINOSAE) para identificação de possíveis efeitos da elevação do CO2 atmsférico e mudanças climáticas. Tese doutorado, USP - Brasil.

Mainieri, C., Pires, J. M. 1973, O Gênero Podocarpus no Brasil. Silvicultura em São Paulo, 8: 1-24.

Maranho, L. T., Galvão F., Muñiz, G. I. B., Kuniyoshi, Y. S., Preussler, K. H. 2006, Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. Acta bot. bras. 20(3): 633-640.

Mariaux. A. 1967, Les cernes dan le bois tropicaux, nature et periodicité. Bois et forets des tropiques. 113-3-14.

Marury C. M. (org.) 2002, Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Brasília – Ministério do Meio Ambiente.

Mattos, P.P., Seitz, R.A., Salis, S.M. 2007, Potencial dendroecológico de Tabebuia Heptaphylla (Vell.) Toledo. Bol. Pesq. Fl. Colombo. 48:93-103.

Mattos, P. P., Seitz, R. A., Salis, S. M. 2010, Idade e Ritmo de Crescimento do Tronco de Árvores de Espécies da Floresta Natural do Pantanal Matogrossense, MS. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 50, p.

McDougall, K. L., Brookhouse, M. T., Broome, L. S. 2011, Dendroclimatological investigation of mainland Australia's only alpine conifer, Podocarpus lawrencei Hook.f. Dendrochronologia, V. 30 - 1, 1 - 9.

Milani, E. J. - 2010,Crescimento de Podocarpus lambertii Klotzsch ex Endl. Em duas regiões fitogeográficas no estado do Rio Grande do Sul /Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

Morellato, L. P. C., Leitão-Filho, H. F., Rodrigues, R. R., Joly, C. A. 1990, Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude

na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. Revista Brasileira de Biologia 50: 149-162.

Oliveira J. M. 2007, Anéis de crescimento de *Araucária angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. Tese de Doutorado, UFRS - Brasil.

Perez C. A., Carmona, M. Aravena, J. C. 2009, Environmental controls and patterns of cumulative radial incremento f evergreen tree species in montane, temperate rainforests of Chiloé Island, southern Chile. Austral Ecology, 34, 259-271. 2009

Plomion, C., Leprovost, G., Stokes, A. 2001, Wood formation in trees. Plant Physiology. V. 127, p. 1513-1523.

Pumijumnong, N., Eckstein, D., Sass, U. 1995, Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. IAWA Journal, Vol. 16 (4), p. 385-392.

R Development Core Team 2011, R: A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0.

Rauber R. C. 2010, Dendroecologia de *Cedrella fissilis* Vell. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil. Dissertação de Mestrado, UFRS – Brasil.

Richter, H. G. 1985, Wood and anatomy of Lauraceae II. Licaria Aublet. Iawa Bull. 6 (3) p. 187-199.

Rocha, A. J. D., Costa, I. V. G. (org.) 1995, Projeto mapas municipais do município de Morro do Chapéu. Salvador – BA. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

Roig, F. A. 2000, Dendrocronología en los bosques del Neotrópico : revisión y proección futura. In: ROIG, F. A. (Ed.). Dendrocronología en América Latina.Mendoza: EDIUNC, p. 307-355.

Roitsch, T. 1999, Source-sink regulation by sugar and stress. Current Opinion in Plant Biology, London, v. 2, p. 198-206.

Sano, Y., Okamura, Y., Utsumi, Y. 2005, Visualing water-conduction pathways of living trees: selection of dyes and tissue preparation methods. Tree Physiology. V. 25.

Schongart J., Piedade M. T. F., Ludwigshausen S. 2002, Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. Journal of Tropical Ecology, 18, 581–597.

Schongart J., Junk W. J., Piedade M. T. F. 2004, Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Nin˜o-Southern Oscillation effect. Global Change Biology, 10, 683–692.

Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M. 2011, Biomass and Net Primary Production of Central Amazonian Floodplain Forests Amazonian Floodplain Forests Ecological Studies, 2011, Volume 210.

Schweingruber F.H., 1996, Tree rings and environment dendroecology, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 pg.

Soliz-Gamboa, C. C., Rozendaal, D. M. A., Ceccantini, G., Angyalossy, V., van der Borg, K., Zuidema, P. A. 2011, Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. Trees, v.25:17–27.

Stokes, M.A., Smiley, T.L., 1968, An Introduction to Tree-ring Dating. University of Chicago Press, Chicago.

Stokes MA, Smiley TL 1996, An introduction to tree-ring dating. The University of Arizona Press, Tucson

Umebayashi, T., Utsumi, Y., Koga, S., Inoue, S., Shiiba, Y., Arakawa, K., Matsumura, J., Oda K., 2007, Optimal conditions for visualizing water-conducting pathways in a living tree by the dye injection method Tree Physiol, 27 (7): 993-999.

Umebayashi, T., Utsumi, Y., Koga, S., Inoue, S., Fuikawa, S., Arakawa K., Matsumura, J., Oda K. 2008, Conducting pathways in north temperate deciduous broadleaves trees. Iawa Journal, V. 29 (3), 247-263.

UTHSCSA (2002), Image Tool for Windows.

Trouet, V., Haneca, K., Coppin, P., Beeckman, H. 2011,Tree ring analysis of brachystegia spiciformis and Isoberlinia tomentosa: evaluation of the enso-signal in The miombo woodland of eastern Africa. IAWA Journal, Vol. 22 (4), 2001: 385–399.

Vetter, R., Botosso, P. C. 1989, Remarks on Age andGrowth Rate Determination of Amazonian Trees. IAWA Bull., Vol. 10 (2):133-145.

Villalba, R. 2000, Dendroclimatology: a southern hemisphere perspective. Pp. 28-57. En: P. Smolka & W. Volkheimer (eds.). Paleo- and Neoclimates of the Southern Hemisphere: The State of the Arts. Springer. Berlin – Germany.

Vogel, J. C., Fuls, A., Visser, E. 2001, Radiocarbon adjustments to the dendrochronology of a yellowwood tree. South African Journal of Science, 97, Mar - Apr, 164-168.

Waisel, Y., Liphschitz, N., Kuller, Z. 1972, Patterns of water movement in trees and shrubs. Ecology, v. 53, n. 3.

Wehr, N.J., Tomazello Filho, M. 2000, Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de Araucaria angustifolia (Bert.) O Klotz através da microdensiometria de raios X. Scientia Florestalis. 58: 161-70.

Wigley, T. M. L., Briffa K. R., Jones, P. D. 1984, On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23, 201-213.

Willigen, C. V., Sherwin, H. W., Pammenter, N. W. 2000, Xylem hydraulic characteristics of subtropical trees from contrasting habitats grown under identical environmental conditions. Research, v. 145.

Wittmann F., Schongart J., Queiroz, H. L., Wittman, A. O., Conserva, A. S., Piedade, M. T. F., Kesselmer, J., Junk, W. J. 2009, The amazon floodplain Demostration Site: Sustaintable timber production and management of Central Amazonian white-water floodplains. Ecohydrology & Hydrology, v. 9.

Worbes M. 1988, Variety in structure of annual growth zones in Tabebuia barbata, Bignoniaceae, a tropical tree specie from Central Amazoniam inundiation forests. Dendrochronologica. (6): 71-89.

Worbes, M., Junk, W. J., 1989, Dating tropical trees by means of 14C from bomb tests. Ecology 70:503–507.

Worbes M. 1995, How to measure growth dynamics in tropical trees:a review. IAWA J 16:337–351.

Worbes M. 1999, Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the caparo forest reserve in Venezuela. J Ecol 87:391–403.

Worbes M. 2002, One hundred years of tree-ring research in the tropics—a brief history and an outlook to future challenges.
Dendrochronologia 20:217–231.