

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**DENDROECOLOGIA DE *CEDRELA FISSILIS* VELL.
(MELIACEAE) EM UM ECÓTONO DE FLORESTAS
SUBTROPICAIS MONTANAS NO BRASIL**

Rita Cristina Rauber

Porto Alegre, 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**DENDROECOLOGIA DE *CEDRELA FISSILIS* VELL.
(MELIACEAE) EM UM ECÓTONO DE FLORESTAS
SUBTROPICAIS MONTANAS NO BRASIL**

Rita Cristina Rauber

Orientador: Dr. Valério De Patta Pillar

Co-orientador: Dr. Juliano Morales de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências com ênfase em Ecologia.

Porto Alegre, maio de 2010

Dendroecologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil

Por

Rita Cristina Rauber

Orientador

Dr. Valério De Patta Pillar
Professor Titular, Departamento de Ecologia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, Brasil.

Co-Orientador

Dr. Juliano Morales de Oliveira
Professor Assistente, Programa de Pós-Graduação em
Biologia, Universidade de Vale do Rio dos Sinos, São
Leopoldo, Brasil.

Comissão Avaliadora

Dr. Cláudio Sergio Lisi
Professor no Departamento de Biologia da
Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

Dra. Lucia Rebello Dillenburg

Professora associada ao Departamento de Botânica,
membro da comissão de Pós-Graduação do PPG
Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, Brasil.

Dr. Paulo Luiz de Oliveira

Professor colaborador do Departamento de Ecologia,
com atuação nos Programas de Pós-Graduação em
Ecologia e Botânica na Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Brasil.

Porto Alegre, maio de 2010

“[...] E a ciência, ela mesma, a nossa ciência - sim, o que é que significa, visto como sintoma da vida, toda ciência? Para quê? Pior ainda, de onde procede toda ciência? Como? Constituirá a ciência somente um temor e um refúgio do pessimismo? Uma suave, mas necessária defesa contra a verdade? E, falando moralmente, algo como covardia e falsidade? Falando imoralmente, uma astúcia? Ó Sócrates, Sócrates, teria sido este o teu mistério? Ó enigmático irônico, teria sido esta a tua...ironia?” (Nietzsche 2005, p.14).*

*Nietzsche, F. (2005). A origem da tragédia: proveniente do espírito da música. São Paulo: Madras, 128p.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

À agência de fomento Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico – CNPq;

Ao Orientador Dr. Valério De Patta Pillar, que coordena um laboratório de pesquisa de excelência, podendo servir de exemplo de organização; e ao Co-Orientador Juliano Morales de Oliveira, um grande entusiasta da dendroecologia que, por sua determinação, me inspirou e incentivou a seguir essa linha de pesquisa no mestrado;

A todos os colegas do Laboratório de Dendroecologia, principalmente a Felícia Fischer, estudante de graduação em Ciências Biológicas, que muito me ajudou na coleta e preparo das amostras utilizadas. Assim como aos colegas do Laboratório de Ecologia Quantitativa por sua companhia e conselhos.

Aos responsáveis pelo Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUC pelas excelentes infra-estruturas e serviços prestados durante o trabalho de campo, bem como aos demais funcionários que nos acolheram com muita simpatia e afetuosidade.

Aos meus pais Antonio e Zenita pela compreensão, afetuosidade e incentivo que deram, desde os primórdios de minha existência, para que eu pudesse seguir o “caminho da vida” conforme os meus princípios, com sentimento de responsabilidade pelos meus atos, me lembrando de observar bem por onde andam meus pés. Bem como aos amigos amados (entre eles José Rodrigo, Bárbara, Helen, Joana, Tiagos, William, Mônica, Gustavo e Billi), entre outros, que me acompanharam e me orientaram nesse período de minha vida

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	08
ABSTRACT.....	09
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE APÊNDICES.....	11
1.INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1Objetivos.....	15
1.2 Hipóteses.....	15
2.REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1.Formação de anéis de crescimento.....	19
2.2Estudos dendrocronológicos.....	22
2.3Fatores que definem anéis anuais em ecossistemas tropicais.....	25
2.4A família Meliaceae.....	27
2.4.1O gênero <i>Cedrela</i>	27
2.4.2 <i>Cedrela fissilis</i> Vell.....	29
2.4.2.1Aspectos ecológicos.....	31
2.4.2.2Características sociológicas.....	31
2.5 Fenologia	32
2.5.1.4Fenologia de <i>Cedrela fissilis</i>	33
2.6 Dendrocronologia de <i>Cedrela</i>	34
2.7 O crescimento de <i>Cedrela</i> e os fatores ambientais (temperatura e precipitação) em diferentes ambientes.....	35
3.REFERÊNCIAS.....	37

4.ARTIGO: DENDROECOLOGIA DE <i>CEDRELA FISSILIS</i> VELL. (MELIACEAE) EM UM ECÓTONO DE FLORESTAS SUBTROPICAIS MONTANAS NO BRASIL.....	43
RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
5.INTRODUÇÃO.....	47
6.MÉTODOS.....	50
6.1Local de estudo.....	50
6.2A vegetação.....	51
6.3Amostragem e análise das seções transversais.....	53
6.4Séries padronizadas e cronologia.....	54
6.5Padrão de largura dos anéis e sua relação com o clima.....	55
6.6Estudo dos padrões de crescimento.....	56
7.RESULTADOS	57
7.1Os anéis de crescimento e sua correlação com o clima.....	59
7.2Padrões de crescimento em <i>Cedrela fissilis</i>	61
8.DISSCUSSÃO	67
8.1Os anéis de crescimento em <i>Cedrela fissilis</i> e sua correlação com variáveis climáticas regionais.....	67
8.2Padrões de crescimento em <i>Cedrela fissilis</i>	71
9.REFERÊNCIAS	74
10.APÊNDICES.....	78

RESUMO GERAL

Cedrela fissilis é uma espécie arbórea decídua com uma ampla distribuição de ocorrência na América Latina. Ocorre desde a Argentina até o Panamá, na América Central. É uma espécie que pode habitar áreas baixas de florestas, ao nível do mar e pode ocorrer em altitudes de até 1000 metros. Conhecida popularmente como cedro, cedro branco, cedro rosado, cedro missioneiro, cedro vermelho. Ela pertence a um dos gêneros de espécies mais importantes de todo o mundo para a produção de madeira, sendo por isso muito explorada. Estudos dendrocronológicos podem ajudar a entender quais fatores ambientais influenciam as taxas de crescimento da formação de lenho nas plantas. Bem como podem dar informações sobre a dinâmica de populações, o desenvolvimento e a produtividade dos ecossistemas. Devido à grande amplitude de ocorrência e a formação anual nas zonas de incremento no xilema secundário, *C. fissilis* é uma das espécies mais promissoras para estudos dessa natureza em regiões tropicais e subtropicais na América do Sul.

Palavras chave: *Cedrela fissilis*, estudos dendrocronológicos, madeira, xilema .

ABSTRACT

Cedrela fissilis a deciduous tree, is a species with a widespread distribution in Latin America. Occurring from Argentina to Panamá and Costa Rica in Central America. It can live in lowland forests from sea level up to 1000 m. Is popularly named as cedro, cedro branco, cedro rosado, cedro missioneiro, cedro vermelho. It belongs to a world's economically most important timber genus from the point of view of the excellence of its wood properties, which is the reason this species has been much exploited. Dendrochronological studies would help to understand the influence of environmental factors on its growth rate and wood formation, as well as to provide valuable information on the population dynamics and on the development and productivity of ecosystems. Due to its widespread distribution and the annual formation of increment zones in the secondary xylem *Cedrela fissilis* is one of the most promising tree species for dendroclimatological studies in tropical and subtropical South America.

Keywords: *Cedrela fissilis*, dendrochronological studies, wood formatio, xylem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: - Localização da área de estudo	51
Figura 02: Diagrama climático de São Francisco de Paula.	52
Figura 03: Anéis de crescimento de <i>Cedrela fissilis</i> .	57
Figura 04: A cronologia da largura dos anéis de <i>Cedrela fissilis</i> .	58
Figura 05: Correlação entre o crescimento arbóreo anual e as variáveis climáticas mensais precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima.	60
Figura 6: Relações entre o índice de crescimento do ano corrente em <i>Cedrela fissilis</i> e a precipitação do período de dezembro a abril do ano anterior e a temperatura mínima do período de dezembro a março do ano anterior.	61
Figura 07: A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 40 anos	62
Figura 08: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 1 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 40 anos.	62
Figura 09: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 2 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 40 anos.	63
Figura 10: A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 80 anos.	64
Figura 11: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 1 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 80 anos.	64
Figura 12: Curvas de crescimento dos sete indivíduos do grupo 2 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 80 anos.	65
Figura 13: Curvas de crescimento dos indivíduos dos dois grupos com a janela temporal de 40 anos.	65
Figura 14: Curvas de crescimento dos sete indivíduos dos dois grupos com a janela	66

temporal de 80 anos.

LISTA DE TABELAS

Tabela1. Localização e período de registro dos dados climáticos nas estações meteorológicas.	53
Tabela 2: Descrição estatística da cronologia dos anéis de crescimento de <i>Cedrela fissilis</i> .	58

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1: Foto tirada do limite da escarpa do Planalto, na localidade de amostragem, Parque PRO-MATA.	78
Apêndice 2: Imagem extraída do Google Earth evidenciando os dois sítios de coleta.	78
Apêndice 3: Coleta de amostras com a utilização do trado de incremento.	79
Apêndice 4: Trado de incremento	79
Apêndice 5: Amostras armazenadas para a realização do transporte até o laboratório de análises dendrocronológicas.	80
Apêndice 6: Mesa de medição e amostras coladas em suportes de madeiras.	80

1. INTRODUÇÃO GERAL

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae), uma espécie arbórea conhecida popularmente como cedro-branco, cedro-rosa, cedro-vermelho e cedro-batata, possui ampla distribuição na América do Sul, ocorrendo desde a Costa Rica (12° N) até o Sul do Brasil (33° S) (Pennington 1981). É espécie ocorrente em diversos estádios sucessionais, encontrada como pioneira na vegetação secundária (Lorenzi 2000), como secundária-tardia, passando a clímax (Longhi 1995) ou espécie clímax exigente de luz (Pinto 1997 *apud* Carvalho 2003).

Cedrela fissilis é uma espécie que, por ter uma madeira considerada de boa qualidade, foi intensamente explorada. No entanto, ainda é possível constatar sua ampla distribuição e, em alguns locais, sua alta frequência. Ela é encontrada ao longo de rodovias ou no interior de florestas secundárias e capoeirões na forma de árvores jovens, exemplares remanescentes ou mesmo como mudas pequenas (Inoue et al. 1984).

Nas Américas, a exploração extrativista de madeira remonta à época do início da colonização européia, continuando até hoje. Há pouca preocupação com a reposição das árvores cortadas, o que poderia ser feito através de planos de manejo ecológico de rendimento sustentado, utilizando-se, para esse fim, mudas das mesmas espécies (Paula & Alves 1997). Porém pouco se conhece sobre a taxa de crescimento de espécies arbóreas nativas, entre elas o cedro. Estudar o ciclo de vida das espécies na floresta requer o acompanhamento com medições periódicas, o que implica em um longo

período de observações e maior demanda de recursos. Neste contexto a dendrocronologia insere-se como uma alternativa rápida e eficaz para o estudo do crescimento de árvores nativas (Iwasaki-Marochi 2007).

Toda planta traz em sua estrutura de células, tecidos e órgãos um grande arcabouço de informações sobre sua vida passada e o ambiente, sendo que o crescimento de árvores é um processo dinâmico resultante de suas relações espaciais e estados fisiológicos (Wimmer 2002). Estes conformam estruturas e padrões que podem ser reconhecidos com regularidade em seções transversais de árvores, sendo visualizados através de formações de anéis de crescimento (Schweingruber 1996). O estudo deste fenômeno é alvo da área de conhecimento denominada Dendrocronologia.

Cedrela fissilis Vell. é considerada um espécie promissora para estudos dendrocronológicos em ambientes tropicais e subtropicais da América do Sul, devido a sua formação anual de zonas de incremento e sua ampla distribuição. Estes estudos constituem uma importante ferramenta para manejo florestal e reconstrução de variáveis climáticas, dentre outros (Boninsegna et al. 1989; Mattos et al. 1999).

As espécies do gênero *Cedrela* são ocorrentes nas mais diversas condições ambientais. No Brasil, *Cedrela fissilis* é peculiar das matas secas e subsiste em descampados e até no cerrado (Rizzini 1971), mas é também descrita como tendo preferência por solos úmidos, fundos de vales ao longo dos rios e baixadas (Inoue et al. 1984), o que lhe confere importância para o fornecimento de informações sobre a dinâmica do crescimento nas diversas condições ambientais onde ocorre. Estudos dendrocronológicos possibilitam revelar fatores ambientais que influenciam as taxas de crescimento e formação de madeira, bem como obter informações para inferências sobre a dinâmica de populações, e desenvolvimento e produtividade de ecossistemas.

A dendrocronologia pode ser dividida em vários subcampos que focam uma série de aplicações relacionadas com várias áreas de conhecimento, como a dendroarqueologia e a dendroecologia. A dendroecologia envolve ramos que lidam com diferentes tipos de informações ambientais, como a dendroclimatologia, dendrogeomorfologia, dendrotectônica, dendroglaciologia, dendronivologia etc. (Schweingruber 1996). Os anéis de crescimento podem ser usados para estudar variações climáticas anuais do passado, permitindo reconstruções e prognósticos climáticos (Fritts 1976), inclusive de fenômenos de larga escala espacial, como a intensidade e a extensão dos efeitos do El Niño e da La Niña (e.g. Dünisch 2004).

Durante muito tempo a idéia difundida era a de que em regiões tropicais e subtropicais as variações climáticas não seriam suficientemente drásticas e regulares para produzir ciclos anuais de atividade cambial. Acreditava-se que a formação de anéis de crescimento das plantas nesses ambientes estaria vinculada a restrições (ambientais) de crescimento esporádicas ou ciclos endógenos específicos (Oliveira 2007; Schweingruber 1996). Devido a isso, ainda são poucos os estudos dendrocronológicos na América do Sul, sendo a quase totalidade dessas pesquisas concentradas, até pouco tempo, no Chile e Argentina (Villalba & Boninsegna 1989; Lara et al. 2001; Argollo et al. 2004).

Porém, tem-se observado o aumento progressivo nos estudos sobre a dinâmica de espécies de árvores tropicais e subtropicais através de reconstruções dendroecológicas (e.g. Worbes et Al. 2003; Brienen & Zuidema 2006). Isso porque pesquisas recentes têm comprovado a ocorrência de anéis de crescimento anuais em várias espécies tropicais e subtropicais, em resposta a variações ambientais sazonais, corroborando estudos pioneiros do final do século XIX e início do século XX como constam na revisão histórica feita por Worbes (2002).

No território brasileiro, existem inúmeras espécies com grande potencialidade dendrocronológica e, embora estudos relacionados à dendrocronologia sejam recentes, já formam um corpo teórico denso, passível de uma análise conjunta (Oliveira 2007). Estudos dendroecológicos de espécies como cedro são importantes por contribuírem ao conhecimento ecológico da formação dos anéis de crescimento, aportando dados temporais até então praticamente inexistentes.

1.1 Objetivos

Esse estudo objetivou a realização de uma cronologia dos anéis de crescimento em *Cedrela fissilis* Vell. com intuito de estabelecer relações entre o crescimento da espécie e o clima regional, em um ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila Densa em clima subtropical no Sul do Brasil.

Procurou-se conhecer os padrões de crescimento relacionados à idade dos indivíduos, considerando que a espécie *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) é referenciada na literatura como possuindo uma grande adaptação às diversas condições de luz e ocorrente em diferentes estádios sucessionais (Lorenzi 2000, Longhi 1995 e Pinto 1997 *apud* Carvalho 2003).

1.2 Hipóteses

Devido ao fato de outros estudos dendrocronológicos efetuados com *Cedrela fissilis* Vell., em outras regiões do Brasil, (Dünisch 2005) terem encontrado correlações entre a cronologia dos anéis de crescimento e o clima regional espera-se encontrar na região de estudo, um ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila Densa, em clima subtropical no Sul do Brasil, correlações entre o crescimento e o clima. Infere-se que o crescimento será mais fortemente correlacionado com as variações na temperatura, visto que estudos dendrocronológicos já efetuados na

região (Oliveira et al. 2010) terem assim indicado para o caso do crescimento de *Araucaria angustifolia*.

Acredita-se que os padrões de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. associados à idade dos indivíduos podem estar correlacionados com as dinâmicas de clareiras que ocasionam variações na disponibilidade de luz. Considera-se que as variações temporais na disponibilidade de luz em uma floresta, variações que podem ser ocasionadas devido à abertura de clareiras, controlam fortemente os padrões de crescimento, sendo essenciais para a conformação da estrutura da vegetação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para estudos ecológicos em florestas são preciosas as informações que possibilitam o entendimento da dinâmica das populações das espécies arbóreas. Para a obtenção de dados sobre as taxas de crescimento de espécies arbóreas nativas, o ciclo de vida das espécies na floresta, a estrutura etária de uma população e o conhecimento de como todas estas características variam em função do espaço e do tempo é necessário o acompanhamento de longa duração, com medições periódicas. Isso implica em um longo período de observações e uma grande demanda de recursos.

A dendrocronologia vem consolidando-se como uma ciência que supre estas demandas de forma rápida, barata e eficaz. O conhecimento sobre a formação de zonas de incremento anuais em espécies lenhosas remonta ao século XVI, com Leonardo Da Vinci, que reconheceu a relação entre a largura dos anéis de crescimento e o clima, tendo constatado a ocorrência de anéis mais espessos em anos menos secos (Corona 1986). A informação de que algumas espécies produzem anualmente seus anéis de crescimento é bastante difundida; menos difundido é o fato de que é possível comparar padrões de anéis largos e estreitos para se estabelecer o ano exato em que estes foram formados. Através deste tipo de análise, é possível determinar a época em que um fragmento de árvore fez parte de uma árvore viva, comparando-se estes fragmentos de idade desconhecida com anéis de árvores vivas (Fritts 1976).

O prefixo *dendro*, derivado da palavra grega *dendron* significa árvore e a palavra *cronologia* refere-se às ciências que lidam com o tempo e com as datas de alguns eventos. A obtenção de cronologias é, diferentemente de estudar séries individuais, determinar o comportamento do crescimento de um grupo de indivíduos. Essa datação precisa é possível devido ao fato de que um dos principais fatores ambientais que

influenciam o crescimento conjunto de indivíduos, determinando o padrão de largura dos anéis é o clima (Fritts 1976).

Todos os seres vivos estão sujeitos à passagem do tempo, o envelhecimento. A velocidade deste envelhecimento e como ele é expresso dependem dos fatores internos e externos aos indivíduos. Nas plantas a frequência da divisão celular, o alongamento celular e formação da parede celular são dependentes da idade. Assim também são os processos de diferenciação de tecidos e a habilidade de reagir aos fatores ambientais. Em muitas plantas a passagem do tempo é indicada pela formação de anéis de crescimento (Schweingruber 1996).

Vários são os fatores ambientais que podem influenciar o crescimento das plantas a qualquer momento durante o ano e durante a história de vida da planta, de qualquer maneira, modificando a taxa de incremento radial. Luz, temperatura, água, suprimento de nutrientes, vento, danos mecânicos ao meristema apical, às raízes e ao caule, bem como poluição do ar e do solo são fatores que influenciam o crescimento das árvores. Porém, conhecer o efeito desses fatores isolados é praticamente impossível (Schweingruber 1996). Ademais, esses fatores podem agir sinergicamente e podem gerar uma cadeia de efeitos (Fritts 1976). Os órgãos das árvores podem agir independentemente aos fatores ambientais, sendo então que, enquanto algumas partes da árvore somente recebem os “sinais ambientais”, outras reagem aos mesmos, independente uns dos outros (Tomazello Fo et al. 2001). Porém, a árvore inteira poderá reagir a um fator ambiental, sendo que este poderá ter um impacto limitado inicialmente e, tempos depois, afetar extremamente a atividade cambial. Devido a todos esses fatores, para se determinar as causas da formação de anéis de crescimento mais largos ou estreitos, é necessária a investigação de muitos indivíduos de sítios selecionados (Schweingruber 1996).

Durante o período de vida das plantas elas reagem aos fatores ambientais, integrando os “sinais ambientais” em sua estrutura, durante o seu período de vida, que pode ser efêmero ou, até mesmo, durar por períodos de até 4.900 anos, como o caso do *Pinus longaeva* (Currey 1965). As diferenças nas larguras entre os anéis de crescimento e a formação de estruturas que se assemelham ao lenho tardio dos anéis de crescimento, formando os falsos anéis, é o reflexo da sensibilidade que cada espécie possui. A sensibilidade, nas plantas, é o grau em que as árvores reagem aos fatores ambientais, podendo ou não formar anéis, sendo esta específica de cada espécie (Schweingruber 1996).

As maneiras como os fatores ambientais vão modificar as estruturas anatômicas, quais os fatores ambientais que podem modificá-las e qual a amplitude que os fatores ambientais podem atingir para tornarem-se fatores limitantes são determinados pela configuração genética das espécies. Enquanto algumas espécies têm a capacidade de adaptar suas estruturas anatômicas às condições ambientais extremamente limitantes, outras espécies são limitadas a uma amplitude de variações ambientais muito estreitas (Schweingruber 1996).

2.1 Formação dos anéis de crescimento

Algumas plantas, na formação de lenho (xilogênese), formam estruturas que as capacitam a manterem seu bom funcionamento fisiológico quando sob condições ambientais mais extremas. Estruturas podem configurar-se como anéis de crescimento, que são estruturas anatômicas do xilema secundário que configuram círculos mais ou menos concêntricos quando observadas em corte transversal (Esau 1976).

Para qualquer análise dendrocronológica é imprescindível ter plantas com anéis de crescimento, formados com periodicidade conhecida. Todavia, uma datação absoluta

só será possível se for conhecido o ritmo de atividade cambial, pois a existência de anéis de crescimento em uma dada espécie não indica, necessariamente, que os anéis têm periodicidade anual, e nem mesmo que sejam formados com alguma periodicidade (Roig 2000).

O câmbio vascular, também denominado meristema lateral, é uma bainha contínua que envolve o xilema do caule, da raiz e de suas ramificações. Esse meristema forma, por meio de divisões periclinais, elementos xilemáticos e floemáticos, respectivamente, em direção ao interior e exterior do corpo vegetal. Com a progressiva produção do xilema secundário ocorre o aumento em espessura do caule ou raiz, o câmbio aumenta em circunferência e é deslocado para fora (Esaú 1976). Essas sucessivas camadas de crescimento podem possuir limites mais ou menos nítidos, os anéis de crescimento, sendo possível ordenar esses anéis de crescimento em escala temporal, por serem os mais próximos ao câmbio os mais recentes indicando quando o indivíduo morreu ou foi amostrado. Os anéis mais antigos, os mais próximos à medula indicam quando a árvore nasceu ou foi uma muda (Stokes & Smiley 1968; Fritts 1976).

Os anéis de crescimento são compostos pelo lenho inicial, lenho produzido durante o período de condições ambientais favoráveis e pelo lenho tardio, que delimita o anel de crescimento e que é formado durante o período em que o crescimento é restringido por algum fator ambiental limitante. O lenho tardio pode ser definido por diferenças no lume e espessamento das paredes das traqueídes, no caso das gimnospermas, e das fibras, no caso das angiospermas. As angiospermas também podem ter anéis definidos por diferença no diâmetro e na disposição dos vasos, ou presença de parênquima axial marginal, características que podem aparecer conjuntamente. As estruturas que determinam a presença de anéis em uma dada espécie

são constantes em todos os indivíduos da mesma; porém, a sua conspicuidade pode ser variável em função dos ambientes onde estas se encontram (Schweingruber 1996).

Para que os anéis tenham uma periodicidade é necessário que sua formação seja induzida por uma alternância sazonal dos fatores ambientais que causem periodicamente condições de crescimento não favoráveis. Fatores de estresse que ocorrem sazonalmente são climáticos sendo, nas zonas temperadas e de altas altitudes, as baixas temperaturas do inverno e, nos trópicos, as estações de seca e de inundações. Esses estresses induzem uma dormência cambial nas árvores formando as zonas de crescimento no lenho (Worbes 1995).

Até o presente, registros sobre a periodicidade de formação dos anéis de crescimento indicam para a grande maioria das regiões a formação de um anel por ano. Jacoby (1989), registrou a formação de dois anéis por ano na região Leste da África sendo um correspondente a um curto período de chuva no meio do ano e outro a um longo período de chuva no final do ano. Também foram encontradas a formação não periódica de zonas de incremento em regiões de condições sempre úmidas, mostrando que o crescimento dessas árvores poderia não ser conectado com mudanças climáticas correspondentes (Wrobel 1977).

Em investigações de atividade cambial pela amostragem cronológica, a extração de amostras sem danificar o caule é crucial. Uma forma de realizar esses estudos causando a menor injúria possível é a análise parcial do tronco. Essa caracteriza-se por ser um método não-destrutivo, que utiliza o trado de Pressler (trado de incremento) (Apêndice 4) para retirada de pequenas amostras de madeira, denominadas baguetas, de árvores vivas. Nesse método, para que sejam amostrados os primeiros anos de vida da árvore deve-se tomar cuidado para incluir na amostra o centro ou a medula do tronco,

no momento da retirada das baguetas (Stokes & Smiley 1968), sendo que o trado de incremento pode por vezes não alcançar o centro do tronco. Isso pode ocorrer devido ao alinhamento incorreto do trado em relação ao eixo perpendicular da árvore, trado de curto comprimento ou pela excentricidade da medula (Schweingruber 1988).

2.2 Estudos dendrocronológicos

Para a realização de estudos dendrocronológicos, ou para a aplicação de técnicas dendrocronológicas, é necessário assumir certos paradigmas científicos. O primeiro é o princípio da uniformidade explicado por Houtton *apud* Fritts (1976). Este indica que a maneira como atuam no presente os processos físicos e biológicos relacionados com as variações no crescimento das plantas e com as condições ambientais é a mesma como atuaram no passado. Houtton *apud* Fritts (1976) afirmava que o “presente é a chave do passado”. Com isso pode-se inferir como foram as condições ambientais no passado ao analisarmos as variações no crescimento das plantas, através da análise dos anéis de crescimento. Assim pode-se reconstruir o clima de uma região abrangendo períodos anteriores aos dos registros de estações meteorológicas através dos anéis de crescimento das árvores.

O princípio do fator limitante indica que o fator mais limitante é o que determina a ocorrência e a velocidade dos processos biológicos, como o crescimento. O mesmo fator poderá perdurar como limitante por todos os anos, tanto quanto poderá mudar de forma ou deixar de ser limitante; nesse caso, a rota dos processos da planta aumentará até que outro fator se torne limitante. O grau e duração dos efeitos limitantes variam de um ano para o próximo. Quando um ou mais fatores ambientais se tornam criticamente limitantes agindo numa amplitude geográfica grande o suficiente para direcionar a taxa de crescimento em várias árvores, e se esta taxa de crescimento for

marcada pela presença de anéis, será possível a realização da co-datação (*crossdating*) (Fritts 1976).

O procedimento de marcar os padrões de anéis entre as árvores e ou “fragmentos de madeira”, em um determinado local é denominado co-datação (*crossdating*). Esse procedimento consiste em marcar cuidadosamente os padrões de anéis, identificando-se os anéis com “problemas”, pouco conspícuos e falsos anéis. Esses anéis com “problemas” são formados devido a muitos motivos. Falsos anéis de crescimento podem se formar em resposta a diferentes influências ambientais, que causam distúrbios intra-sazonais de crescimento. As condições ambientais extremas ocorrentes em momentos isolados do ano podem induzir a planta a formar falsos anéis de crescimento que podem ser confundidos com o lenho tardio. Estes anéis de crescimento podem ser detectados em todas as espécies, mas são mais comuns em árvores que crescem nas regiões secas. Anéis pouco conspícuos, ou descontínuos, são anéis que se encontram com outros adjacentes em certos pontos da circunferência ou aqueles que não formam um círculo completo ao redor da medula. Podem ocorrer devido a falta de simetria das estruturas anatômicas da árvore, podem ser decorrentes de uma injúria local do câmbio ou pela inatividade do câmbio em virtude de falta de nutrientes (Tsoumis 1969 *apud* Mattos et al.1999). Como a amostragem com trado de incremento amostra somente uma parte do lenho, é necessária a comparação entre as amostras de um mesmo indivíduo para realizar-se essa correção e assim conhecer as séries de crescimento de cada indivíduo.

Com o objetivo de identificar os anéis faltantes e falsos e assim obter uma cronologia mais precisa, é necessária a coleta de pelo menos duas baguetas por árvore. A identificação dos falsos anéis vai depender também da familiaridade e experiência do observador com os anéis de crescimento da espécie (Iwasaki-Marochi 2007).

Para realizar a co-datação e assim determinar se a taxa de formação dos anéis para determinada espécie em um sitio escolhido é periódica, é necessário realizar uma sobreposição das curvas de crescimento dos indivíduos amostrados. Uma correlação positiva entre as curvas de crescimento indica que algum fator ambiental comum atuando sobre o conjunto de indivíduos está determinando o crescimento conjunto desses indivíduos, e esse fator é geralmente o clima (Fritts 1976). Através de diagramas climáticos é possível conhecer por quantos momentos durante o ano as condições climáticas são consideradas limitantes. Só assim é possível a identificação exata do ano no qual cada anel foi formado, podendo-se assim fixar-se uma data calendária para cada anel. A série média de crescimento dos indivíduos de uma espécie num dado sítio, obtida a partir das séries de crescimento individuais apresentando correlação entre si, é denominada cronologia.

É possível estender-se a seqüência de anéis de crescimento para um passado distante. Para tanto se pode co-datar uma cronologia de árvores vivas com indivíduos usados como madeira de construção, desde que ocorrentes em uma mesma área e que tiveram períodos de sua vida que se sobrepueram no tempo. Assim essa madeira de construção poderá ser co-datada com uma outra madeira de uma estrutura antiga ou de algum sítio arqueológico (Fritts 1976). Através da datação feita com um padrão de replicação massiva dos padrões de combinação das propriedades dos anéis (co-datação), pode-se conhecer o ritmo de crescimento não somente das árvores de um só local, mas através de regiões que podem ser maiores que 1100 km diâmetro (Fritts 1981) ou até 2000 km de distância (Hughes et al. 2001).

Os estudos dendrocronológicos tiveram amplo desenvolvimento nas regiões de clima temperado, porque os pesquisadores acreditavam que o fator ambiental climático limitante o suficiente para a formação de anéis de crescimento seria a temperatura.

Acreditava-se que os anéis formados pelas espécies lenhosas nos trópicos não seriam periódicos devido a uma falta de estacionalidade climática acentuada e que a formação de anéis de crescimento das plantas estaria vinculada a restrições (ambientais) de crescimento esporádicas ou ciclos endógenos específicos (Schweingruber 1996). Além disso, outros elementos determinaram que os estudos de anéis de crescimento nos trópicos não tenham tido um desenvolvimento similar ao alcançado nas regiões extratropicais. Entre eles está a escassez de ocorrência de espécies longevas (Worbes 1999), aliada a uma alta taxa de decomposição de madeira morta (Bultman & Southwell *apud* Roig 2000).

O mito começou a ser desfeito a partir das investigações pioneiras realizadas por Coster (1927, 1928 *apud* Worbes 2002), que indicaram um padrão na formação do lenho de algumas espécies relacionados à periodicidade da chuva em algumas áreas tropicais. Tem-se observado o aumento progressivo nos estudos sobre a dinâmica de espécies de árvores tropicais e subtropicais através de reconstruções dendroecológicas (e.g. Worbes et al. 2003; Brienen & Zuidema 2006).

2.3 Fatores que definem anéis anuais em ecossistemas tropicais

Os fatores climáticos influenciam os organismos vivos de formas muito complexas, não somente devido ao grande número de variáveis, mas também devido à constante interação entre elas (Mota 1979). As condições de temperatura e precipitação são os fatores chefes determinantes da distribuição das formações vegetais. Pesquisas como as de Oliveira Filho & Fontes (2000) evidenciaram que a sazonalidade de temperatura e precipitação correlacionam-se com a maior parte dos padrões florísticos das espécies no sudeste do Brasil, sendo consistente em todos os níveis taxonômicos,

sugerindo que esses fatores têm tido uma influência por longo tempo na evolução e especiação dos táxons de árvores.

Estudos realizados em regiões extra-tropicais identificaram que os fatores limitantes ao crescimento de espécies arbóreas são a temperatura média anual e a amplitude sazonal. Em espécies ocorrentes em regiões tropicais e subtropicais no Brasil, encontrou-se que os fatores que determinaram a periodicidade da formação do xilema das plantas foram a variação no regime de chuvas (Worbes 1985, 1989; Botosso & Vetter 1991; Luchi 1998 *apud* Tomazello Fo et al. 2001) e a sazonalidade nas temperaturas foi evidenciada para as espécies *Araucaria angustifolia* (Oliveira et al. 2009) e *Cedrela fissilis* Vell. (Dünisch 2005).

Morales et Al.(2004) encontraram que para as quatro espécies *Juglans australis*, *Alnus acuminata*, *Prosopis ferox* e *Polylepis tarapacana*, crescendo em ambientes de altas altitudes no noroeste da Argentina, em um clima considerado subtropical, a precipitação é o fator mais limitante do crescimento. A relação inversa entre o crescimento das árvores e a temperatura é devida, provavelmente, ao reflexo do efeito negativo das altas temperaturas na disponibilidade de água, principalmente durante as estações de crescimento. Este tipo de resposta foi encontrada para a espécie *Araucaria angustifolia* por Oliveira et al. (2009) em uma região montana no sul do Brasil, em que o crescimento foi negativamente correlacionado com a temperatura para os meses de Dezembro e Janeiro. Assim também o foi para *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Villalba et al. 1989).

No Brasil foram encontrados padrões anuais de formação de lenho em árvores tropicais causados por períodos de inundações nas Florestas Amazônicas de inundações, reportados por Schongart et al. (2002) e Worbes (1989), e na Floresta Atlântica do sudeste (Callado et al. 2001).

2.4 A família Meliaceae

A família Meliaceae, pertencente à ordem Sapindales (APGIII 2009), compreende 51 gêneros e 1400 espécies distribuídas em regiões tropicais e pantropicais da América, África e Ásia. A família Meliaceae é representada na América do Sul por oito gêneros, *Cedrela*, *Swietenia*, *Cabralea*, *Trichilia*, *Guarea*, *Carapa*, *Schmardaea* e *Ruegea* (Pennington 1981). Os gêneros *Melia*, *Azadirachta*, *Toona*, *Khaya* e outros de outras regiões incluem-se nesta lista devido à sua introdução pós período Colonial (Tomazello Fo et al. 2000).

A família Meliaceae teve seus primeiros registros científicos na América a partir da obra de Patrick Browne intitulada *Civil and Natural History of Jamaica*, realizada no ano de 1756 . Nesta obra o autor descreveu os gêneros *Cedrela*, *Trichilia*, *Barbilus* e *Elutheria*. Atualmente os dois primeiros gêneros ainda são utilizados, enquanto que *Barbirus* é considerado sinônimo de *Trichilia* e *Elutheria* foi denominado de *Guarea* Allam. (Pennington 1981).

Outros gêneros da família foram descritos em 1760 quando Jacquin usou pela primeira vez o nome *Swietenia* na sua obra *Enumeratio Systematica Plantarum*. Já o gênero *Carapa* foi descrito em 1775 por Aublet em sua obra *Histoire des Plantes de la Guiane française*. Foi no início do século seguinte que os gêneros *Cabralea*, *Ruagea* e *Schmardaea* foram descritas, o primeiro por Adrien Jussieu em seu *Mémoire sur le groupe des Meliacées* (1830), e as outras duas por H. Karsten no *Florae Columbiae* (1861-3)(Pennington 1981).

2.4.1 O gênero *Cedrela*

Linnaeus, em sua décima edição de *Systema Naturae* (1759), a partir do que foi reportado por Patrick Browne, foi o responsável pela publicação válida das primeiras

espécies de *Cedrela* e *Trichilia*, que foram as espécies *C. odorata*, *T. hirta*, *T. glabra* e *T. trifolia* (Pennington 1981). As espécies de *Cedrela* são limitadas em sua ocorrência ao chamado Novo Mundo, onde atualmente foi descrita a existência de oito espécies. Todas as espécies de *Cedrela* do chamado Velho Mundo foram transferidas para o gênero *Toona* (Endlicher) M. J. Roemer (Pennington 1981; Klein 1984).

Cedrela constitui um gênero neotropical das florestas tropicais úmidas e florestas tropicais e subtropicais. Ocorre desde o México (latitude 26° N) até o norte da Argentina e ao Sul do Brasil (latitude 28° S), incluindo todos os países da América latina, exceto o Chile (Tomazello Fo et al. 2001; 2000). As espécies do gênero ocorrem desde lugares drenados a úmidos de terras baixas, até mesmo alcançando áreas com altitude de 1200 metros. Podem ocorrer em ambientes drenados de florestas tropicais e subtropicais, usualmente associadas com florestas latifoliadas e coníferas (Hueck 1972; Rizzini 1978). Segundo Pennington (1981), este gênero é dependente de uma alta disponibilidade de luz solar, ocorrendo frequentemente como pioneira, tendo altas taxas de crescimento em florestas secundárias. Todas as espécies do gênero *Cedrela* são susceptíveis ao ataque por larvas perfuradoras de brotos, *Hypsiphyla grandella* (broca do ponteiro), o que de alguma forma limita a sua área natural de dispersão e o seu uso em plantios (Klein 1984; Pennington 1981; Tomazello Fo et al. 2000).

As oito espécies que constituem o gênero são (i) *C. fissilis* Vell., espécie cuja ocorrência vai das florestas de terras baixas do nível do mar a 1800 metros de altitude, com larga distribuição na América Latina, da Costa Rica à Argentina. (ii) *C. lilloi* C. DC., confinada ao sul da América no Peru, Bolívia e Argentina, em regiões com altas altitudes entre 1800-1400 m, ocorrendo ocasionalmente em altitudes até 800m, incluindo o Brasil. (iii) *C. oaxacensis* C. DC. et Rose, espécie endêmica, confinada às bases do Rio Balsas e aos tributários no Vale do Oaxaca no México, ao Panamá, cresce

em lugares secos de altas altitudes 1400-2000 m, algumas vezes em vegetação secundária, sempre em solos de origem vulcânica. (iv) *C. odorata* L., ocorre no México, ao longo do Pacífico do Estado de Sinaloa (lat. 26N) a Guerrero e Chiapas e na costa Atlântica subtropical de Tamaulipas a Yucatán, nas Ilhas Caribenhas, sendo ausente no Chile. Ocorrendo em áreas baixas da América Central e da América do Sul até o norte da Argentina (v) *C. angustifolia* Ses. et. Moc. Ex DC., que ocorre do México ao Norte da Argentina, exceto nas Ilhas Antilhas, ocorrendo de 200 a 1900 m de altitude (Villalba 1995) (vi) *C. montana* Mor. et Turc., ocorre de 1500 a 3000m de altitude na Venezuela e Peru, praticamente restrita a regiões montanhosas, ocorrendo também na Colômbia e Equador (Pennington 1981, Tomazello et al.2000) e (vii) *C. weberbauerii* Harms in McBride, no Peru (Pennington 1981).

Grau et Al.(2003) apresentaram exemplos de uso da dendroecologia para estudar os padrões temporais de regimes de distúrbio (fogo, inundações, deslizamentos, abertura de clareiras), citando a espécie *Cedrela lilloi* C. DC como tendo potencial para o desenvolvimento de cronologias de fogo e para estudos sobre dinâmica de clareiras através da análise das cicatrizes, sendo esta uma espécie de vida longa que possui anéis e cicatrizes de fogo de boa qualidade.

2.4.2 *Cedrela fissilis* Vell.

Rizzini (1971) apontou que no Brasil existem três espécies dotadas de lenho muito semelhante, que são consideradas madeiráveis, quase sempre confundidas sob a designação de *C. fissilis* Vell. na literatura nacional corrente. Todas recebem nomes populares de *cedro*, *cedro branco*, *cedro rosa* e *cedro vermelho*. O autor realizou uma revisão onde foram estabelecidas distinções entre as espécies, denominadas de *Cedrela odorata* L., ocorrendo na floresta amazônica; *Cedrela angustifolia* S. & Moc.,

ocorrendo na floresta atlântica, e *Cedrela fissilis* Vell., que é o cedro das matas mais secas, ocorrendo na região que vai de Minas Gerais ao Sul, mas as áreas de ocorrência destas três espécies interpenetram-se.

Em relação à etimologia da espécie, *Cedrela* deriva do grego kedros, procedente de keein (queimar, perfumar, purificar), referente ao perfume da espécie, semelhante ao do legítimo cedro (Toona), que era usada para perfumar ambientes. O epíteto específico advém do latim fissilis, que significa o que pode ser fendido, fácil de rachar (Klein 1984).

Cedrela fissilis distingue-se pela pubescência na parte inferior dos folíolos, pela falta de domácias, pelos frutos maiores. Enquanto *C. odorata xerogeiton* pode apresentar idêntica pilosidade porém possui folíolos coriáceos com domácias e obtusos. *C. odorata odorata* (a espécie considerada típica) também possui domácias, tem menor número de folíolos e são obtusos, e *C. angustifolia* diferencia-se pelos folíolos muito pontudos (Rizzini 1971).

Das três espécies citadas anteriormente *C. fissilis* é a que se distribui em ambientes mais secos, ocorrendo em matas mais secas, podendo ocorrer em descampados e no cerrado, tendo sido registrada a sua ocorrência no Pará, em terra seca, firme e montanhosa. A sua região ocorrência mais abundante é de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (Rizzini 1971).

A espécie *C. fissilis*, em matas secas, local onde ocorre frequentemente, geralmente alcança uns 10 m x 50cm, com fustes de cerca de 4,5m. Já na floresta pluvial no extremo sul alcança 30m x 130cm. Usualmente os frutos medem 5cm de comprimento, mas em certas localidades as árvores jovens podem exibir o dobro. A casca é grossa, dura, pardo acinzentada, rugosa, profundamente sulcada, com cristas em

relevo, ca. -3,5 cm nas cristas, internamente mostrando linhas ou faixas estratificadas (Rizzini 1971).

2.4.2.1 Aspectos ecológicos

Espécie *Cedrela fissilis* ocorre em diversos estádios sucessionais por apresentar uma “grande capacidade elástica de adaptação fisiológica às condições lumínicas do ambiente” (Pinheiro et al. 1990, p. 2). É encontrada como espécie pioneira na vegetação secundária (Lorenzi 2000), e também como secundária-tardia, passando a clímax (Longhi 1995) ou espécie clímax exigente de luz (Pinto 1997 *apud* Carvalho 2003). Na Região Sul do Brasil, ocorre na densidade de uma a três árvores por hectare, fato interpretado por Paraná (1979) como representando uma das estratégias encontradas pela espécie para minimizar o ataque da "broca do cedro" (*Hypsipyla grandella*), praga que ataca as gemas apicais.

2.4.2 Características sociológicas

O cedro desenvolve-se no interior da floresta primária, regenerando-se principalmente em clareiras com menos de 60 m² (Costa & Mantovani 1992) ou bordas de mata, mas apresenta grande agressividade na vegetação secundária: em capoeirões e na floresta secundária. O cedro consegue desenvolver-se bem em ambiente com pouca luz no estágio juvenil e possui maiores taxas de crescimento em ambientes com alta incidência de luz quando no estágio adulto (Inoue 1983). Apresenta tolerância bastante variável a baixas temperaturas (Carvalho 2003).

2.5 Fenologia

Em climas temperados a variação sazonal na temperatura constitui a principal variável climática de controle do desenvolvimento das árvores. Diferentemente, os climas tropicais, com longas e severas estações de seca, têm como principal determinante climático da fenologia a sazonalidade das chuvas (Borchert 1999). Em ambientes temperados as mudanças fenológicas são altamente correlacionadas com mudanças ambientais (temperatura, fotoperíodo). Por isso, os ciclos sazonais de desenvolvimento das plantas começam com uma liberação do crescimento, brotamento de gemas e floração na primavera e terminam com a queda das folhas, para plantas caducifólias. Os ciclos consecutivos são separados por períodos de dormência, impostos pelo inverno frio. Devido a um forte controle climático, a fenologia de todas as espécies na floresta é altamente sincrônica e os picos de todas as fenofases são estreitos (Borchert 1999).

O suprimento de água constitui o principal variável determinante da fenologia e da atividade cambial na floresta tropical sazonal seca, pois o stress por água inibe fortemente todos os processos que envolvem a expansão celular, como a largada do crescimento, o florescimento e a atividade cambial. O status hídrico é função do balanço entre a absorção de água pelas raízes e a perda de água por transpiração, sendo que o que determina ambos é relacionado com variáveis dos organismos e dos *inputs* ambientais. Nas florestas tropicais secas a precipitação constitui a principal variável climática, mas age sinergicamente com outras variáveis para determinar o status hídrico da planta, assim afetando a fenologia e a atividade cambial somente indiretamente (Borchert 1999).

2.5.1 Fenologia de *Cedrela fissilis*

Cedrela fissilis é caducifólia, sendo constatado por Marcati et al. (2006) que em uma floresta estacional semi-decidual subtropical, na região de Botucatu, a perda de folhas ocorre entre Março e Setembro, correspondendo ao período de maior seca para a região, e a emissão de novas folhas corresponde ao início da estação mais úmida. Grande parte dos indivíduos observados por Marcati et al. (2006) mantiveram algumas folhas maduras durante o período de queda, e por isso a espécie foi considerada como tendo um comportamento semi-decíduo na região. Pinheiro et al. (1990) relatou que em Viçosa-MG, região de clima tropical úmido, a queda das folhas foi de abril a agosto, fenofase em que e a precipitação variou bastante a temperatura permaneceu em declínio até o final da queda das folhas. A floração ocorreu em um momento em que tanto a temperatura quanto a precipitação encontravam-se em aumento gradativo, caracterizando o início de uma época quente e úmida, no período de fins de agosto a fins de dezembro. O pico da floração ocorreu no mês de outubro, marcada por altas temperaturas e baixas precipitações, e o término ocorreu em novembro com temperaturas e precipitações elevadas. A frutificação ocorreu desde o final de outubro de 1988 até meados de agosto de 1989, sendo de aproximadamente 10 meses. Este período iniciou com temperatura e precipitação alta e terminou quando estes dois fatores climáticos estavam em baixa. O seu término ocorreu em meados de agosto em condições de temperatura e precipitação semelhantes às anteriores (Pinheiro et al. 1990).

Existem poucos dados sobre fenologia de cedro no Rio Grande do Sul. Segundo Longhi (1995), a queda das folhas ocorre no período de outono-inverno, a floração nos meses de outubro a novembro, e a maturação dos frutos no período de abril a agosto. Segundo Irgang e Backes (2002) a frutificação ocorre no período de março a outubro.

2.6 Dendrocronologia de *Cedrela*

Devido à sua ampla distribuição, o gênero *Cedrela* é considerado de grande importância para estudos de reconstrução climática numa grande escala geográfica. Uma das maiores dificuldades para a realização destas reconstruções é que a extensão das cronologias até então não superou 300 anos (Roig 2000). Os indivíduos do gênero *Cedrela* foram bastante explorados comercialmente desde os tempos coloniais, devido à excelente qualidade de suas madeiras, sendo considerada "Madeira de Lei", termo referente aos regulamentos coloniais que estabeleciam licenças especiais e prescreviam modos de cortar as árvores (Paula & Alves 1997). Encontrar madeira velha, conservada em condições naturais é extremamente difícil devido à escassa resistência desta madeira ao ataque de termitas e microorganismos (Bultman & Southwell *apud* Roig 2000). Uma das formas para estender as cronologias de *Cedrela*, propostas por Roig (2000) é empregar em estudos dendroarqueológicos madeiras que devido a suas excelentes propriedades para o talhado, foram amplamente utilizada na arte religiosa desde os tempos da colônia, como é o caso dos altares e coros barrocos da Catedral de Cuzco ou na prolífica produção de imagens religiosas no Brasil.

O limite do anel de crescimento nas Meliáceas é definido pela presença do parênquima marginal em combinação com diferenças no diâmetro dos vasos. Em espécies de *Cedrela*, exceto *Cedrela odorata*, o parênquima separa uma região de fibras com paredes engrossadas e ligeiramente achatadas radialmente de outras cuja a parede é mais delgada. O maior tamanho e a espessura delgada das paredes das células do parênquima sugerem que este se forma no início da estação de crescimento. Já em *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) os vasos do lenho inicial se encontram parcialmente

embebidos em parênquima marginal, podendo assim ser considerado um parênquima inicial (Roig 2000).

Marcati et al. (2006) descreveram o lenho de *Cedrela fissilis* como sendo constituído por vasos de lenho tardio de pequeno diâmetro, margeados lateralmente por parênquima axial marginal. Este é composto por duas a três células de elementos parenquimatosos imaturos, formados no final da estação de crescimento, e por camadas de parênquima formados depois da dormência, com o reinício da atividade cambial. Essas últimas camadas de células de parênquima estão espacialmente associadas com vasos de lenho inicial e podem ser nominadas parênquima inicial. Consistindo de ambos, parênquima inicial e final, é apropriado se referir a essas bandas de parênquima como marginais. Sobre cicatrização do lenho, Marcati et al. (2006) afirmaram que em 17 meses os ferimentos feitos nos lenhos por suas amostragens estavam fechados em todas as árvores que utilizou.

2.7 O crescimento de *Cedrela* e os fatores ambientais (temperatura e precipitação) em diferentes ambientes.

No Brasil poucos foram os estudos realizados com a espécie *Cedrela fissilis*. Entre eles estão os estudos de Dünisch (2005), que investigou o crescimento da espécie *C. fissilis* no clima tropical e no subtropical, e encontrou, nas zonas tropicais, uma correlação positiva entre a taxa de incremento anual de *Cedrela* e a precipitação de março a maio do período de crescimento prévio. Em uma região subtropical, o crescimento anual foi correlacionado com a temperatura do ar em maio do período de crescimento prévio e em novembro do período corrente.

C. fissilis mostrou um período de dormência por ano no sítio tropical e subtropical. Porém, houve uma diferença na periodicidade da formação dos anéis de

crescimento, sendo que o câmbio ativo foi encontrado no sítio tropical do início de outubro ao meio de junho, e no sítio subtropical foi encontrado entre setembro até meio de maio (Dünisch 2005). Em relação ao uso do trado para a amostragem dendrocronológica com a espécie *C. fissilis*, tem sido demonstrado que o uso do trado para a dendrocronologia é viável para a espécie (Iwasaki-Marochi 1997).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APG III. (2009). *An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III*. Botanical Journal of the Linnean Society 161, p. 105-121.

ARGOLLO, J.; SOLIZ, C.; VILLALBA, R. (2004). *Potencialidad dendrocronológica de Polylepis tarapacana en los Andes Centrales de Bolivia*. Ecología en Bolivia, v.39, n.1, p. 5-24.

BONINSEGNA, J.A. VILLALBA, R. AMARILLA, L. and OCAMPO, J. (1989). *Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina*. AIWA Bull. v.10, n. 2, p. 161-169

BORCHERT, R. (1999). *Climatic periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees*. IAWA Bulletin, Utrecht, v.20, n.3, p.239-247.

BOTOSSO, P. C. & VETTER, R. E (1991). *Alguns aspectos da periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de Floresta de Terra Firme (Amazonia)*. Revista do Instituto Florestal, v.3, n.2. p. 163-180.

BRIENEN, R. J. W. & ZUIDEMA, P. A. (2006). *Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis*. Journal of Ecology v. 94, p. 481–493.

CALLADO, C.H., NETO, S.J.S., SCARANO, F.R. & COSTA, C.G. (2001). *Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil*. Trees 15, p.492–497.

CARVALHO, R.E.R. (2003). *Espécies Arbóreas Brasileiras*. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnológica.v.1, 1035p.

CORONA, E. (1986). *Dendrochronologia: principi e applicazioni*. Verona, Intituti Italiano di Dendrochronologia.

- COSTA, M.P. DA; MANTOVANI, W. (1992). *Composição e estrutura de clareiras em mata primária mesófila na Bacia de São Paulo, SP*. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.4, pt1, p.178-183. Edição de Anais do 2º Congresso Nacional sobre essências Nativas, São Paulo, SP, mar.
- CURREY, D.R. (1965). *Na ancient blistlecone pine stand in Easter Nevada*. Ecology, v. 46, n.4, p.564-566.
- DÜNISCH, O. (2005). *Influence of the El-niño southern oscillation on cambial growth of Cedrela fissilis Vell. in tropical and subtropical Brazil*. J. Appl. Bot. Food Qual. n. 79, p. 5-11.
- ESAÚ, K. (1974). *Anatomia das Plantas com Sementes*. Edgar Blücher. São Paulo 293p.
- FRITZ, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, London. 567p.
- GRAU H. R., EASDALE T. A. & PAOLINI L. (2003). *Subtropical dendroecology – dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina mountain ecosystems*. Forest Ecology and Management 177, p.131–143.
- HUECK, K. (1972). *As Florestas da América do Sul*. Ed. da Universidade de Brasília, Brasília.
- HUGHES, MK, KUNIHOLM, PI, EISCHEID JK, GARFIN G, GRIGGS, C.B, LATINI C, (2001). *Aegean tree-ring signature years explained*. Tree-Ring Research, 57, p.67-73.
- INOUE, M. T. (1983). *Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas*. In: INOUE, M. T. REICHMANN NETO, F., CARVALHO, P.E.R. TORRES.M.AV. A silvicultura de espécies nativas. Curitiba FUPEF, p.1-18.
- INOUE, M. T. RODERJAN, C. V. YOSHIKO, S. K. (1984). *Projeto Madeira do Paraná*. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba. 260p.

- IRGANG, B. & BACKES, P. (2002). *Árvores do Sul: Guia de identificação e interesse ecológico*. Porto Alegre, 325p.
- IWASAKI-MAROCHI, C. (2007). *Anéis anuais de crescimento do Cedro (Cedrela fissilis - Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 140p.
- JACOBY, G.C. (1989). *Overview of tree-ring analysis in tropical regions*. IAWA Bulletin n.s., Utrecht, v. 10, n. 2, p. 99-108.
- KLEIN, R.M. (1984). *As Plantas Meliaceas*. Flora Ilustrada Catarinenses. Herbário Barbosa Rodrigues. Santa Catarina. 138p.
- LARA, A.; ARAVENA, J.C.; VILLALBA, R.; WOLODARSKY-FRANKE, A.; LUCKMAN, B. & WILSON, R. (2001). *Dendroclimatology of high-elevation Nothofagus pumilio forests to their northern distribution limit in the central Andes of Chile*. Canadian Journal of Forest Research, v.31, p. 925-936.
- LORENZI, H. (2002). *Arvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*, v.1, 3º Ed. Intituto Plantarum de estudos da flora Ltda, São Paulo, 352p.
- LONGHI, R.A. (1995). *Livro das Árvores: Árvores e Arvoretas do Sul*. L&PM, Porto Alegre. 175p.
- MARCATI, C. R., ANGYALOSSY, V. EVERT, R. F. (2006). *Seasonal variation in wood formation of Cedrela fissilis (Meliaceae)*. IAWA Journal, v. 27, n. 2, p.199–211.
- MATTOS, P.P.; SEITZ, R.A.; MUÑIZ, G.I.B (1999). *Identification of annual growth rings base on periodical shoot growth*. In: WIMMER, R.; VETTER, R.E. (Ed.). Tree ring analysis: biological, methodological and environmental aspects. Wallingford, CABI, p.139-145.

- MORALES MS, VILLALBA R, GRAU HR AND PAOLINI L (2004). *Rainfall-controlled tree growth in high-elevation subtropical treelines*. Ecology v.85, n.11, p. 3080-3089
- MOTA, F.S. (1979). *Meteorologia Agrícola*. Livraria Nobel S.A. São Paulo, 4º Ed. 376p.
- OLIVEIRA-FILHO A.T. & FONTES M. A.L. (2000). *Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate*. Biotropica. v.32, n.4b, p.793–810
- OLIVEIRA, J. (2007). *Anéis de crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 112p.
- OLIVEIRA, J.M.; ROIG, F.A. & PILLAR, V.D. 2010. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* on southern Brazilian highlands. *Austral Ecology* 35: 134–147.
- PARANÁ. Universidade Federal. Centro de Pesquisas Florestais (1979). *Estudos das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná; sub-programa Tecnologia*. Curitiba: SUDESUL/UFPR, 335p.
- PAULA, J. E. & ALVES, J.L.H. (1997). *Madeiras Nativas: Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso*. Fundação Mokiti Okada-MOA, Brasília. 543p.
- PENNINGTON, T.D.(1981). *A monograph of neotropical Meliaceae*. New York, New York Botanical Gardens, 470p.
- PINHEIRO, A.L. MARAGON, L. C. PAIVA, G. L. R. M.(1990). *Características fenológicas do Cedro (Cedrela fissilis Vell.) em Viçosa, Minas Gerais*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 21, p.21-26.
- RIZZINI, C. T. (1971). *Manual de Dendrologia Brasileira*. São Paulo. Edgard Brücher Ltda. 294p.
- RIZZINI, C. T. (1979). *Tratado de fitogeografia do Brasil*. Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 2, 374p.

- ROIG, F. A. (2000) *Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura*. In: Roig, F. A.(comp). *Dendrocronología em América Latina*. EDIUNC, Mendoza. p. 307–355.
- SCHÖNGART J., PIEDADE M. T. F., LUDWIGSHAUSEN S., HORNAS V. & WORBES M. (2002). *Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests*. *Journal of Tropical Ecology* 18, p. 581–597.
- SCHEINGRUBER, F.H. (1988). *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 276p.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1996) *Tree Rings and Environment: Dendroecology*. Hall Haupt Publishers, Berne and Stuttgart, Vienna. 609p.
- STOKES, M.A.; SMILEY, T.L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. Chicago: The University of Chicago Press.
- TOMAZELLO Fo, M. BOTOSSO, P. C. LISI, C. S. (2000). *Potencialidades da Família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais*. In: Roig, F. A.(comp). *Dendrocronología em América Latina*. EDIUNC, Mendoza. p. 381-431..
- TOMAZELLO Fo, M. BOTOSSO, P. C. LISI, C. S. (2001). *Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia*. In: MAIA, N. B. MARTOS, H. L. BARELLA. W (org) *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. EDUC/COMPED/INEP. 285p.
- VILLALBA R. & BONINSEGNA J.(1989). *Dendrochronological studies on Prosopis flexuosa DC*. *IAWA Bull.* 10, p. 155-160.
- VILLALBA R., BONINSEGNA J. & COBOS D. (1989) *A tree-ring reconstruction of summer temperature between A.D. 1500 and 1974 in western Argentina*. Third International Conference of the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Buenos Aires.

- VILLALBA, R. (1995). *Estudios dendrocronológicos en la selva subtropical de montañã, implicaciones para su conservación y desarrollo*. In: BROWN, A.D. & GRAU, H. R. (eds). *Investigación y desarrollo en selvas subtropicales de montañã*: 59-68. Proyecto de desarrollo agroforestal/L.I.E.Y.
- WIMMER, R. (2002) *Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change*. Dendrochronologia. Publishers: Urban & Fischer Verlag . p. 21-36.
- WORBES M (1985). *Structural and other adaptations to long-term flooding by stress in Central Amazonia*. Amazoniana 9, p.459-484.
- WORBES, M. (1989). *Growth rings, increment and age in inundation forests, savannas and a mountain forest in the neotropics*. IAWA J. 10(2): p. 109-122
- WORBES, M. (1995). *How to measure growth dynamics in tropical trees – A review*. IAWA Journal, Utrecht, v.16, n.4, p.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*. Journal of Ecology 87, p.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 v. 20, n.1-2, p. 217-231
- WORBES M., STASCHEL R., ROLOFF A. & JUNK W. J. (2003) *Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon*. Forest Ecology and Management 173, p.105–123.

ARTIGO

Dendroecologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil

4. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil

RESUMO

A largura das zonas de incremento no xilema de *Cedrela fissilis* Vell. foi investigada por métodos dendrocronológicos em indivíduos ocorrendo em ambiente de ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil (29°28'47,31"S; 50°10'27,76"O; DATUM WGS84). O objetivo deste estudo foi relacionar o crescimento da espécie com as condições climáticas regionais (temperatura, precipitação), bem como analisar os padrões temporais de crescimento da espécie. Foram obtidas através de trado de incremento amostras de 22 indivíduos de *C. fissilis*. As amostras foram polidas, medidas e co-datadas. A cronologia foi desenvolvida a partir das curvas de incremento co-datadas. Foi obtida uma curva regional a partir dos desvios do período comum dos dados de quatro estações meteorológicas. Relações entre clima e crescimento foram exploradas através de análises de correlação e regressão, comparando a cronologia às séries climáticas. Para estudar os padrões temporais de crescimento, as séries de crescimento foram previamente alinhadas por idade cambial e submetidas à Análise de Componentes Principais. A correlação entre os dados climáticos e a cronologia indicou uma maior correlação entre o crescimento com a precipitação do período de dezembro a abril do ano anterior e com a temperatura mínima do período de dezembro a março do ano anterior. A correlação da cronologia com a média da precipitação do período de dezembro a abril do ano anterior foi $r=0,30$ $P=(0,011)$, e com a temperatura mínima do período de dezembro a março do ano anterior foi $r=0,19$ $P=(0,122)$. A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 40 anos evidenciou dois grupos divergentes. PC1 $r=32$ ($P=0,017$) e PC2 $r=14$ ($P=0,352$). A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 80 anos evidenciou

dois grupos divergentes. PC1 $r=30$ ($P=0,090$) e PC2 $r=22$ ($P=0,074$). Os resultados da correlação com o clima indicaram que *C. fissilis*, pode estar aproveitando um melhor suprimento hídrico para acumular substâncias de reserva antes da perda das folhas. O estudo de padrões de crescimento indica que a espécie desenvolve-se bem com a abertura de clareiras na mata, mas que também, consegue desenvolver-se em ambiente com dossel fechado.

Palavras chave: Dendrocronologia, padrões de crescimento arbóreo, *Cedrela fissilis*, clima.

ABSTRACT

The width of the increments zones in the xylem of *Cedrela fissilis* Vell. was investigated by dendrochronological methods on a subtropical mountain rain forests site ($29^{\circ}28'47.31''S$; $50^{\circ}10'27.76''O$; DATUM WGS84) in Southern Brazil as to study the relationship between the increment and climate as well as to analyze temporal growth patterns of individual trees. Wood cores of *C. fissilis* trees of 22, growing trees were obtained with increment borer. The cores were surfaced, measured and cross-dated. Tree ring width chronology was developed from cross-dated increment curves. Simple correlation was computed between meteorological records and chronology. It was take an average of the period that present some correlation with climatically data and plotted in a dispersal diagram. To study the temporal growth patterns of individual trees for each tree was established age-diameter relationships for its complete lifetime. The individual was aligned by there cambial age and then it was made two Ordination analyses. Due to anatomical irregularities, mainly wedging rings, only 12 out of 22 trees could be cross-dated and used in further analyses. Annual increment of *Cedrela* was correlated with the precipitation from December to April of the previous growth period

and for the minimal temperature from December to March. The dispersal diagram made with the relation between the growing indice and the average of the precipitation period from December to April of the previous year was $r=0,30$ $P= (0,011)$. The correlation between the growing index and minimal temperature from the period of December to March of the previous year was $r= 0,19$ $P=(0,122)$. The Principal Component Analysis (PCA) realized with a temporal window of 40 year showed two divergent groups PC1 $r=32$ ($P=0,017$) e PC2 $r=14$ ($P=0,352$). The Principal Component Analysis (PCA) realized with a temporal window of 80 years showed two divergent groups PC1 $r=30$ ($P=0,090$) e PC2 $r=22$ ($P=0,074$). The results of the correlation between the growing indices and climate indicated that *C. fissilis*, can be taking advantage of a better hydro supply to accumulate reserves substances before to loose their leafs. The study of the temporal growing patterns indicated that this species have a good developed in a environment of open crops, as well it can survive in a closed crops.

Keywords: Dendrochronology, temporal growing patterns, *Cedrela fissilis*, climate.

5. INTRODUÇÃO

Os estudos em dendrocronologia são relativamente recentes nas regiões de clima tropical e subtropical pois durante muito tempo foi difundida a idéia de que nessas regiões as variações climáticas não seriam suficientemente drásticas e regulares para produzir ciclos anuais de atividade cambial. Acreditava-se que a formação de anéis de crescimento das plantas nesses ambientes estaria vinculada a restrições (ambientais) de crescimento esporádicas ou ciclos endógenos específicos (Oliveira 2007; Schweingruber 1996).

Porém, tem-se observado aumento progressivo nos estudos sobre a dinâmica de espécies de árvores tropicais e subtropicais através de reconstruções dendroecológicas (e.g. Worbes et al. 2003; Brienen & Zuidema 2006). Isso porque pesquisas recentes têm comprovado a ocorrência de anéis de crescimento anuais em várias espécies tropicais e subtropicais, mostrando resposta a variações ambientais sazonais, corroborando estudos pioneiros do final do século XIX e início do século XX como constam na revisão histórica feita por Worbes (2002).

A espécie arbórea *Cedrela fissilis* Vell (Meliaceae), conhecida popularmente como cedro-branco, cedro-rosa, cedro-vermelho e cedro-batata, possui ampla distribuição na América do Sul, ocorrendo desde a Costa Rica (12° N) até o Sul do Brasil (33° S) (Pennington 1981). É uma espécie ocorrente em diversos estágios sucessionais, encontrada como espécie pioneira na vegetação secundária (Lorenzi 2000), como secundária-tardia, passando a clímax (Longhi 1995) ou espécie clímax exigente de luz (Pinto 1997 *apud* Carvalho 2003). É uma espécie parcialmente esciófila, que se desenvolve em ambientes sombreados e de luz difusa, no estágio juvenil e

heliófila, que vive completamente ao sol no estágio adulto (Inoue 1983). Apresenta tolerância bastante variável a baixas temperaturas (Carvalho 2003).

Cedrela fissilis Vell. é considerada uma espécie promissora para estudos dendrocronológicos em ambientes tropicais e subtropicais da América do Sul, devido a sua formação anual de zonas de incremento do lenho e sua ampla distribuição, constituindo uma importante ferramenta para estudos sobre manejo florestal e reconstrução de variáveis climáticas, dentre outros (Boninsegna et al. 1989; Mattos et al. 1999).

Marcati et al. (2006) descreveram o lenho de *Cedrela fissilis* como sendo constituído por vasos de lenho tardio de pequeno diâmetro, margeados lateralmente por elementos parenquimatosos imaturos, formados no final da estação de crescimento, e por camadas de parênquima formados depois da dormência, com o reinício da atividade cambial. O parênquima axial marginal é composto por ambos, parênquima inicial e final. Sobre a cicatrização do lenho, tendo em vista o dano causado pela amostragem com trado de incremento, Marcati et al. (2006) afirmam que em 17 meses os ferimentos feitos nos lenhos por suas amostragens estavam fechados em todas as árvores que utilizou.

Para a realização de estudos dendrocronológicos com trados de incremento é necessário realizar a co-datação. A co-datação consiste em marcar os padrões de anéis entre as árvores e ou “fragmentos de madeira”, em um determinado local. Esse procedimento consiste em marcar cuidadosamente os padrões de anéis, identificando-se os anéis com “problemas”, pouco conspícuos e falsos anéis. Esses anéis com “problemas” são formados devido a muitos motivos. Falsos anéis de crescimento podem se formar em resposta a diferentes influências ambientais, que causam distúrbios intra-sazonais de crescimento. Os pouco conspícuos, ou descontínuos, são anéis que se

encontram com outros, adjacentes, em certos pontos da circunferência ou aqueles que não formam um círculo completo ao redor da medula. Podem ocorrer devido à falta de simetria das estruturas anatômicas da árvore, devido uma injúria local do câmbio ou pela inatividade do câmbio em virtude de falta de nutrientes (Tsoumis 1969 *apud* Mattos et al.1999). Como a amostragem com trado de incremento amostra somente uma parte do lenho, é necessária a comparação entre as amostras de um mesmo indivíduo para realizar-se essa correção e, assim, conhecer as séries de crescimento de cada indivíduo.

Neste trabalho objetivamos obter uma cronologia dos anéis de crescimento da *Cedrela fissilis*, assim como conhecer as relações entre o crescimento e variáveis climáticas regionais num ambiente com sazonalidade na temperatura e de alta umidade, localizado em ecótono vegetacional entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila Densa, em clima subtropical no Sul do Brasil. Objetivou-se, também, obter informações sobre os padrões de crescimento relacionados à idade dos indivíduos de *Cedrela*.

Devido ao fato de outros estudos dendrocronológicos efetuados com *Cedrela fissilis* Vell., em outras regiões do Brasil, (Dünisch 2005) terem encontrado correlações entre a cronologia dos anéis de crescimento e o clima regional espera-se encontrar na região de estudo, um ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila Densa, em clima subtropical no Sul do Brasil, correlações entre o crescimento e o clima. Infere-se que o crescimento será mais fortemente correlacionado com as variações na temperatura, considerando os estudos dendrocronológicos em *Araucaria angustifolia* já efetuados na região (Oliveira 2009).

Acredita-se que os padrões de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. associados à idade dos indivíduos, podem estar correlacionados com as dinâmicas de clareiras que

ocasionam variações na disponibilidade de luz. Considera-se que as variações temporais na disponibilidade de luz em uma floresta, variações que podem ser ocasionadas devido à abertura de clareiras, controlam fortemente os padrões de crescimento, sendo essenciais para a conformação da estrutura da vegetação.

6. MÉTODOS

6.1 Local de estudo e clima

O estudo foi realizado no Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata (Pró-Mata), da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS (Fig 01). O sítio de pesquisa encontra-se na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, no domínio morfoestrutural denominado planalto meridional, ou planalto sul-brasileiro, limitado ao leste e sul pela escarpa erodida do planalto, sendo a face leste abrupta voltada para o Oceano Atlântico, identificada por Suertegaray (1996) como a escarpa da linha de falha Osório-Torres (Apêndice 1).

Devido a sua localização geográfica a região é não só a mais fria, como também a mais úmida do Estado. A região possui registros de elevada precipitação, sendo o clima identificado pelo IBGE (1986) como superúmido a úmido. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb (mesotérmico), um clima úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano, com pelo menos 30 mm de precipitação em cada mês e média termal do mês mais quente inferior a 22°C. Nas suas escarpas, os invernos registram temperaturas relativamente baixas (Bernardes 1997). O fato da região possuir baixas temperaturas aliado a alta pluviosidade ocasiona uma baixa evapotranspiração o que acarreta um balanço hídrico com excedentes em todos os meses do ano, somando a média anual de 1209 mm (IBGE 1986) (Fig 02).

6.2 Vegetação

Considerando a classificação das Regiões Fitoecológicas do Rio Grande do Sul (IBGE 1986, Rambo 2000), na área de estudo identificam-se basicamente as seguintes unidades: Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa e Campos. Segundo Bertoletti (1995), nesta área também ocorrem algumas espécies da Floresta Estacional Semidecídua.

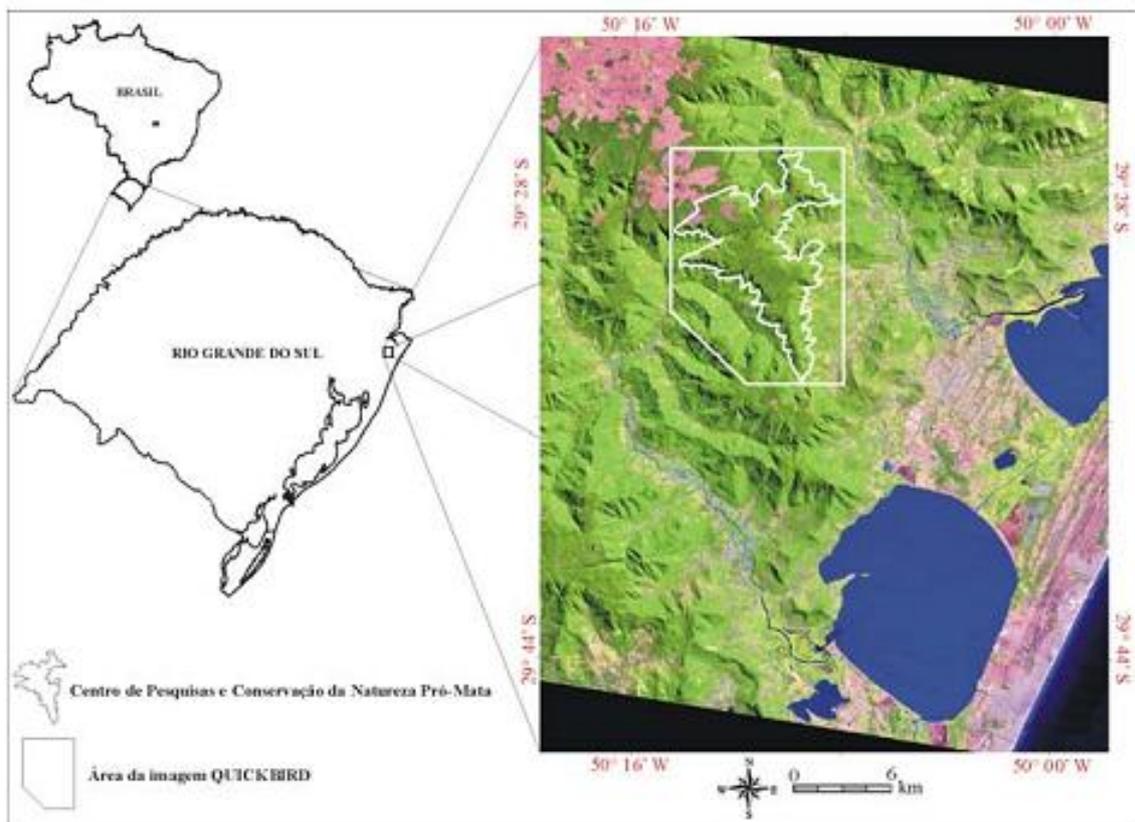


Figura 1: Mapa evidenciando localização da Área de estudos. Fonte: Pinheiro (2003).

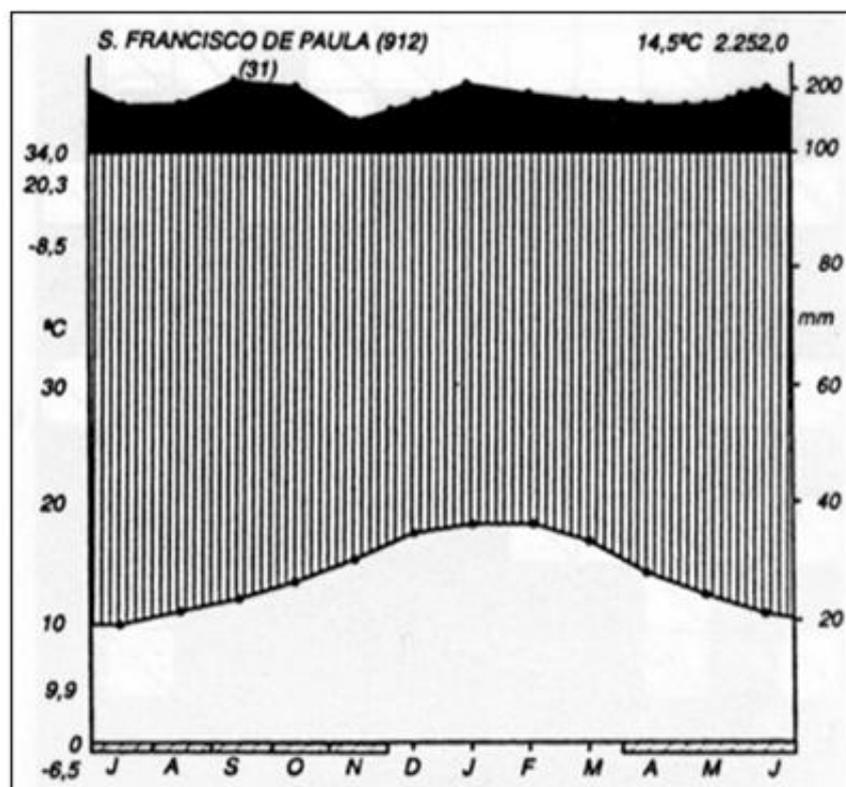


Figura 02: Diagrama climático de São Francisco de Paula. Modificado de Backes (1999). Fonte: Oliveira (2003)

Foram selecionadas séries históricas mensais de temperatura mínima e máxima e precipitação total mensal para municípios das regiões do Planalto, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os municípios amostrados no planalto foram Vacaria, Bom Jesus, Caxias do Sul e São Francisco de Paula.

Devido ao fato de que os dados climáticos disponibilizados pela estação meteorológica do município de São Francisco de Paula foram restritos até 1961, a janela temporal foi considerada muito curta. Para se obter dados climáticos com uma janela temporal maior foram obtidas Curvas Regionais Climáticas. Para isso foram obtidas médias regionais mensais para o período de 1931-1961, o período comum dos dados climáticos disponíveis dos municípios acima citados. A seguir, para cada série climática

desses municípios, foram calculados desvios em relação à média regional do respectivo mês, obtendo-se uma curva média regional de desvios para cada variável meteorológica que cobriu o período de 1925 a 1998 (Tabela 1).

Tabela1. Localização e período de registro dos dados climáticos nas estações meteorológicas.

	SFP	CSU	BJE	VAC
Município	São Francisco de Paula	Caxias do Sul	Bom Jesus	Vacaria
Latitude	29° 20'S	29° 10'S	28° 40'S	28° 33'S
Longitude	50° 31'W	51° 12'W	50° 26'W	50° 42'W
Altitude	912 m	759 m	1047 m	954 m
Período de registro	1913-1961	1931-1998	1948-1998	1931-1997

6.3 Amostragem e análise das seções transversais

A amostragem foi realizada em dois sítios no Pró-Mata, o sítio “Sede” (29°28'47,31”S; 50°10'27,76”O; DATUM WGS84) e o sítio “Serraria” (29°29'21,36”S; 50°11'14,53”O; DATUM WGS84) distantes 1,79 km entre si (Apêndice 2). Foram selecionados 26 indivíduos de *C. fissilis*, tendo sido extraídas amostras de 12 indivíduos no sítio “Sede” e 14 no sítio “Serraria”. Todos os indivíduos amostrados estavam localizados em vegetação secundária. Os indivíduos selecionados possuíam diâmetro médio a altura do peito de 34,63 cm (sd± 6,48) e média da altura 15m (sd±2,92). Para cada árvore foram extraídas 2 a 4 seções transversais obtidas com o auxílio de um trado de incremento ($\emptyset = 51$ mm) (Apêndice 3 e 4), totalizando 80 seções transversais. Do total dos indivíduos, 22 tiveram suas amostras extraídas em janeiro de 2005 por Juliano

Morales de Oliveira, e os outros 4 foram amostrados em abril de 2009 para complementar a quantidade de material coletado.

As amostras foram montadas em suportes de madeira e polidas com lixas de grão crescente (60 a 600 grãos) (Apêndice 6). Os anéis de crescimento foram datados e medidos com o auxílio de um estereo-microscópio e equipamento de medição de alta precisão, de acordo com os métodos descritos em Stokes & Smiley (1968). A idade calendária dos anéis de crescimento foi assumida de acordo com os critérios de Schulman (1956). Um em cada dez anéis de crescimento foi marcado para identificação de erros na contagem. A largura dos anéis foi medida com uma mesa de medição com precisão de 0,01 mm.

Para garantir uma maior precisão na datação, o resultado das séries temporais da medição dos anéis de cada amostra foi comparada entre as amostras da mesma árvore, formando para cada indivíduo uma curva média de crescimento e as curvas de cada árvore foram comparadas entre si. Essa comparação foi feita pela sincronização entre os padrões de ocorrência de anéis largos e estreitos (co-datação). Com a ajuda do programa computacional de gráficos e com o software COFECHA (Stokes & Smiley 1968; Holmes 1983). Depois da co-datação, a largura dos anéis de crescimento parciais foi estimada de acordo com as tendências de crescimento observadas em amostras completas da mesma árvore.

6.4 Séries padronizadas e cronologia

Foi obtida uma média das séries co-datadas para cada árvore e depois esses dados foram padronizados. Para a identificação dos fatores ambientais que influenciam o crescimento arbóreo é importante enfatizar a variação de crescimento entre anos. Para tanto, para as séries de cada árvore foi aplicada uma função *spline*, 16 % de resposta-

frequência, tendo janelas móveis de 30 anos de comprimento, cortadas por segmentos de 15 anos, e computados os razões entre os resultados observados e os preditos (Cook & Kairiukstis 1990). As séries proporcionais foram filtradas usando uma modelagem autorregressiva linear (Cook 1985).

As cronologias foram obtidas pela combinação das séries padronizadas em uma série robusta *bi-weighted* (Cook 1985; Cook & Kairiukstis 1990). A qualidade da cronologia foi avaliada pelo resultado da correlação entre as séries (r), e o índice de sensibilidade (s) (Cook & Kairiukstis 1990).

6.5 Padrão de largura dos anéis de crescimento e sua relação com o clima

Para investigar as relações entre o crescimento arbóreo e as variáveis climáticas mensais foram correlacionados 68 anos (unidades amostrais), correspondendo a cronologia do período de 1925 a 2004 com as curvas regionais das três variáveis, precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima. As séries de crescimento arbóreo foram correlacionadas com cada uma dessas variáveis mensais, combinando as séries para o mesmo ano ($\text{lag} = 0$) ou para o próximo ano ($\text{lag} = 1$, e.g., crescimento arbóreo de 2000 pareado com os dados climáticos de 1999). Pelo arranjo ao longo dos meses dos coeficientes de correlação resultantes foi gerado um perfil de correlação, ressaltando os períodos mensais de influência climática mais forte no crescimento das árvores. Os meses em que as variáveis climáticas apresentaram uma maior correlação com as unidades amostrais (crescimento arbóreo) foram agrupados em períodos. Para a precipitação os dados foram agrupados para o período de dezembro a abril do ano anterior e para a temperatura mínima de dezembro a março do ano anterior. O crescimento arbóreo foi, então, correlacionado com séries médias por período. A

significância das correlação foi avaliada com Testes de Aleatorização com 1000 permutações.

6.6 Estudo dos padrões de crescimento

Buscou-se pesquisar os padrões de crescimento de árvores individuais com o intuito de conhecer a frequência de incremento durante a vida dos indivíduos até que esses alcancem a copa (padrões de acesso a copa). Como não possuímos informações da relação entre a luz no ambiente e o crescimento da espécie no local, definimos como critério de supressão e liberação o proporcional aumento e diminuição no crescimento, esse critério de crescimento proporcional tem sido usado em outros estudos e tem provado ser válido para detectar distúrbios com abertura de clareiras (e.g. Brienens & Zuidema 2005).

Para tanto, foram utilizados os dados das larguras dos anéis de crescimento dos indivíduos que puderam ser co-datados, totalizando 12 indivíduos dos 26 amostrados. Esses foram alinhados por idade cambial. Quando a seção transversal coletada não incluiu anéis até o limite externo da medula, foi usado o tamanho médio dos primeiros cinco anéis amostrados para estimar a data do primeiro anel. Como todos os indivíduos co-datados possuíam 40 anos ou mais e somente 7 indivíduos possuíam 80 anos ou mais, foram feitos testes com duas janelas temporais, uma de 40 anos e outra de 80 anos. Realizou-se uma ordenação (Análise de Componentes Principais, PCA) a partir da matriz de correlação entre as árvores com base no seu crescimento em 40 ou 80 anos. As análises foram realizadas no software Multiv (Pillar 2006)

7. RESULTADOS

A sincronização do padrão de largura dos anéis de crescimento indica um crescimento comum entre as árvores de *Cedrela fissilis* na localidade estudada. Das 26 árvores amostradas 12 puderam ser co-datadas. Irregularidades anatômicas, principalmente anéis faltantes e períodos de crescimento com fronteiras difusas causaram dificuldades para co-datação (Fig 03), levando a um pequeno número de árvores utilizadas na cronologia. A árvore mais antiga possuía 101 anos, datando de 1908 a 2008. A série principal da cronologia foi do período de 108 a 2008 ($sd \pm 0,09353$) $0.331r$. O período da cronologia contendo no mínimo 5 (cinco) árvores foi de 1925 a 2004, 69 anos. O período que incluiu todas as árvores foi de 1969 a 2004, correspondendo a 36 anos. Estatísticas descritivas e a representação gráfica da cronologia estão mostradas na tabela 02 e figura 04, respectivamente.

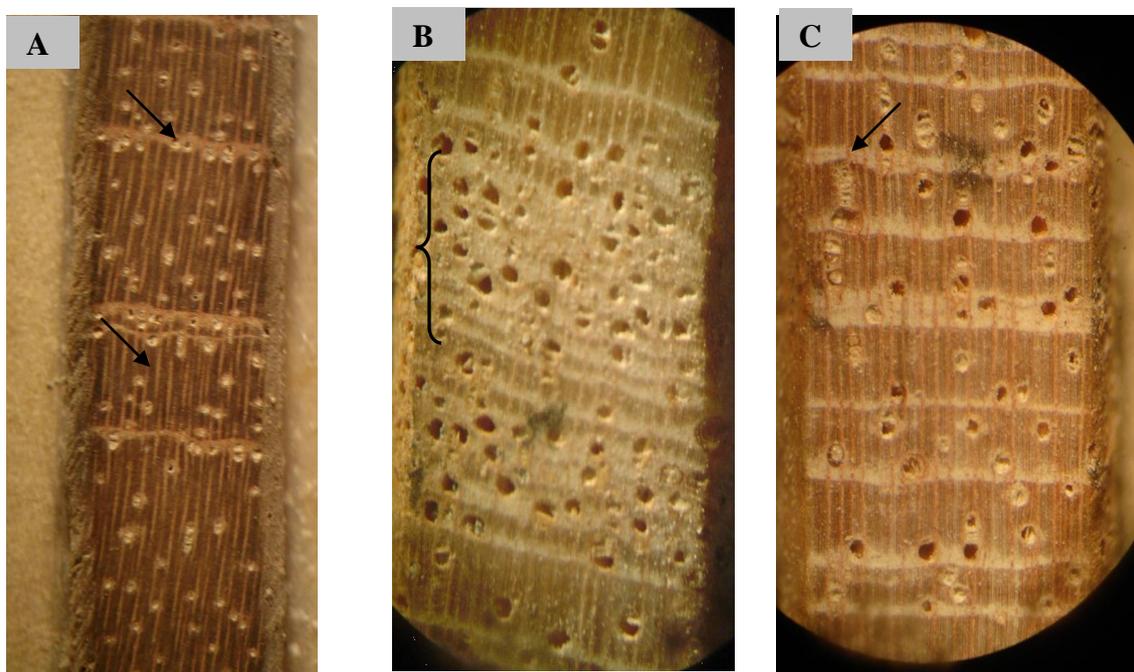


Figura 03: Anéis de crescimento de *Cedrela fissilis*. A) Um anel de crescimento típico, limitado por uma faixa de parênquima marginal, seta acima, a seta abaixo ilustra o lenho inicial. B) A chave mostra anéis com fronteiras difusas. C) Figura evidencia um anel

parcialmente ausente, a seta aponta para uma fina faixa de células de lenho inicial entre duas bandas de parênquima marginal. Fonte: autora

Tabela 2: Descrição estatística da cronologia dos anéis de crescimento de *Cedrela fissilis*.

Número de séries datadas	12
Série co-datada	1908 a 2008 101 anos
Total de anéis em todas as séries	851
Total de anéis checados	847
Correlação entre as séries	0,331
Sensibilidade média	0,573

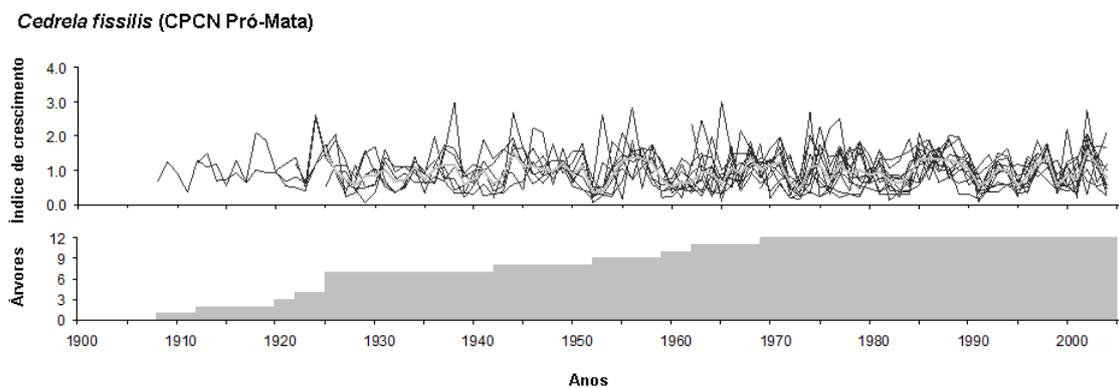


Figura 04: A cronologia da largura dos anéis de *Cedrela fissilis* (linha cinza) e o tamanho da amostragem (número de árvores). As linhas pretas mostram as séries padronizadas para as árvores.

7.1 Os anéis de crescimento e a correlação com o clima

Os perfis que descrevem a correlação entre as unidades amostrais (cronologia) e as variáveis climáticas mostram períodos mensais com relevantes influências climáticas no crescimento arbóreo anual (fig. 5). A correlação do crescimento arbóreo do ano corrente com a precipitação do período de dezembro e abril da estação de crescimento anterior foi positiva explicando 30% da variação ($P=0,011$). Também, a correlação do crescimento do ano corrente com a temperatura mínima do período de dezembro a março da estação de crescimento anterior foi positiva, explicando 19% da variação ($P=0,122$) (Fig. 6).

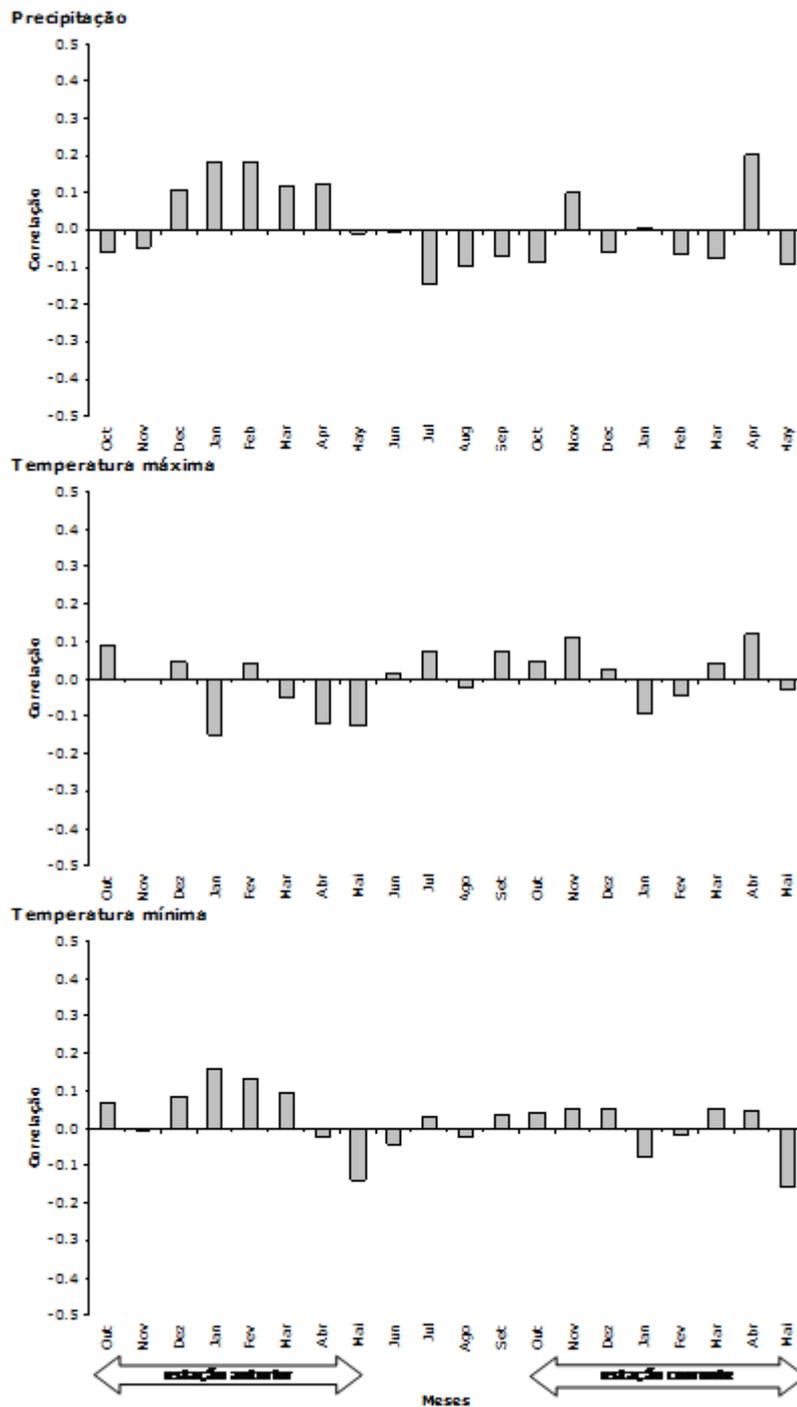


Figura 05: Correlação entre o crescimento arbóreo anual de *Cedrela fissilis* e as variáveis climáticas mensais precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima. Setas identificam os períodos dos meses de crescimento do ano anterior e do ano corrente.

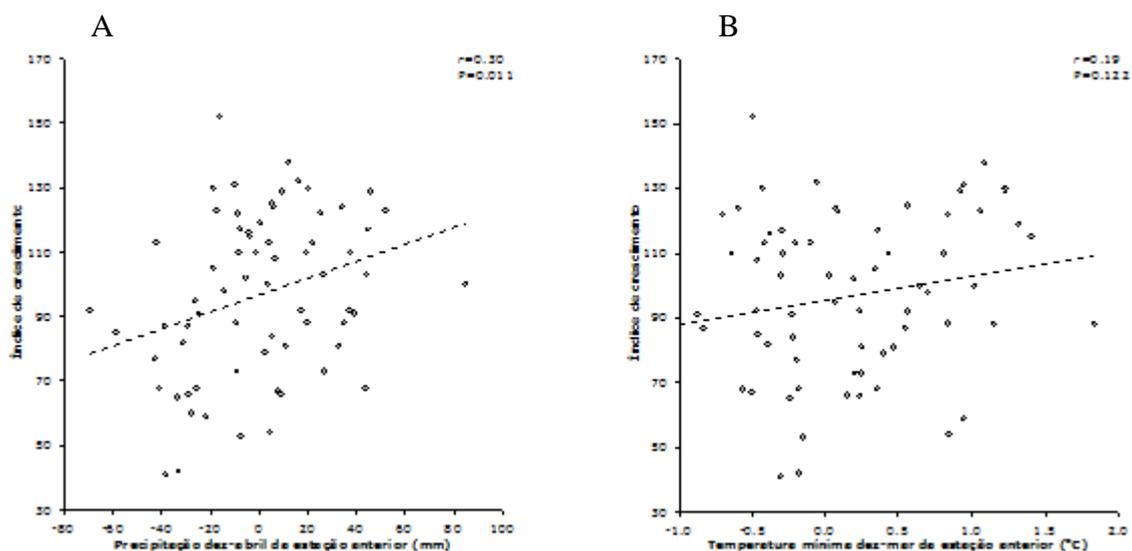


Figura 6: Relações entre o índice de crescimento do ano corrente em *Cedrela fissilis* e a precipitação do período de dezembro a abril do ano anterior (A) e a temperatura mínima do período de dezembro a março do ano anterior (B).

7.2 Padrões de crescimento em *Cedrela fissilis*

A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 40 anos evidenciou dois grupos divergentes. O primeiro Componente Principal (PC1) explicou 32% ($P=0,017$) da variação total, o segundo Componente Principal (PC2) explicou 14% ($P=0,352$), não sendo significativo (Fig 07). Os indivíduos foram separados pela formação dos grupos evidenciados pelo PC1 sendo o grupo 1 constituído por 8 indivíduos (66%) e o grupo 2 constituído por 4 indivíduos (33%) (Fig. 08 e 09). Os indivíduos dos dois grupos estavam distribuídos nos dois sítios de amostragem.

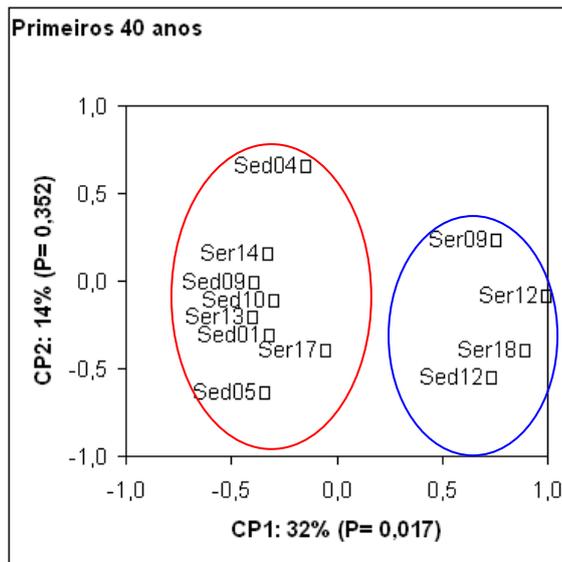


Figura 07: A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 40 anos evidenciando dois grupos divergentes. PC1 32 (P=0,017) e PC2 14 (P=0,352).

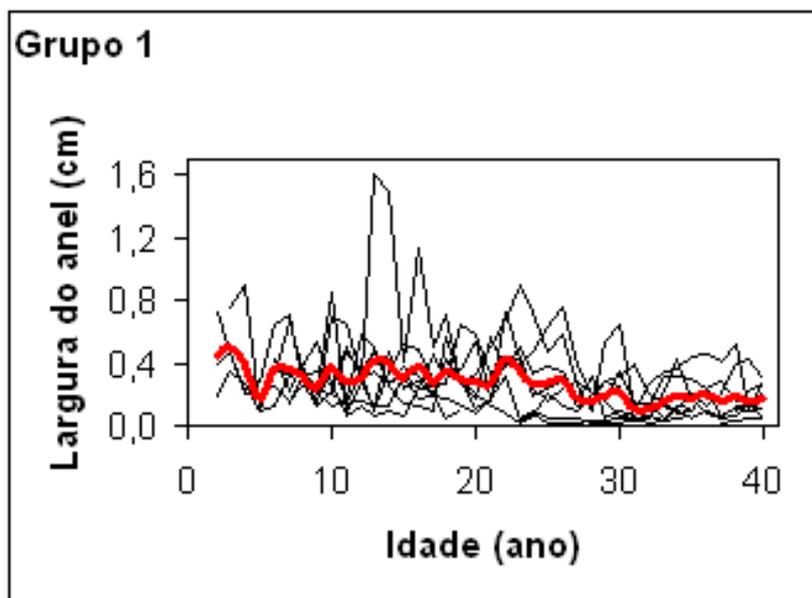


Figura 08: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 1 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 40 anos. A linha escura representa a média do tamanho dos anéis dos indivíduos.

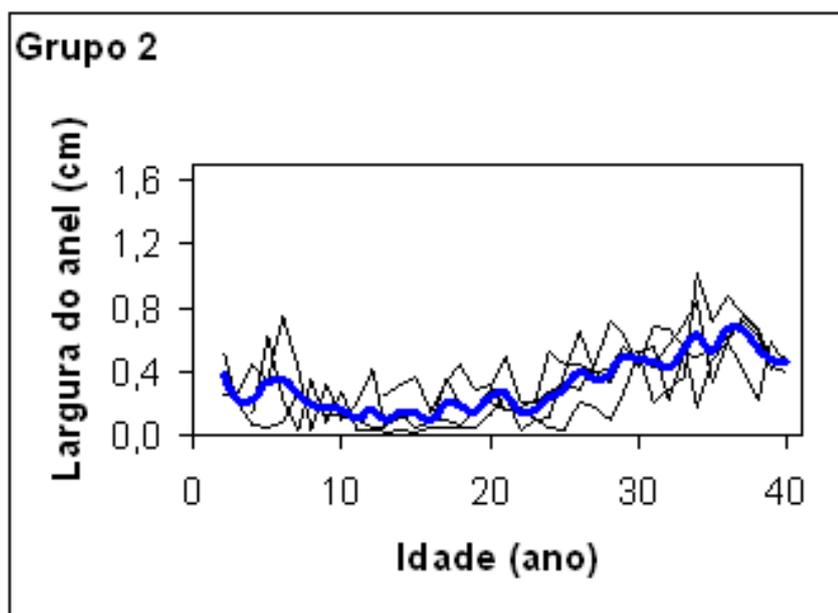


Figura 09: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 2 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 40 anos. A linha escura representa a média da largura dos anéis dos indivíduos.

A Análise de Componentes Principais (PCA), realizada com uma janela temporal de 80 anos continuou evidenciando a formação de dois grupos divergentes. O primeiro Componente Principal (PC1) explicou 30% ($P=0,09$) da variação total, o segundo Componente Principal (PC2) explicou 22% ($P=0,074$), não sendo significativo (Fig 10). Os indivíduos foram separados pela formação dos grupos evidenciados pelo PC1 sendo o grupo 1 constituído por 5 indivíduos (71%) e o grupo 2 constituído por 2 indivíduos (27%) (Fig 11, 12, 13 e 14). Os indivíduos dos dois grupos se mostraram distribuídos nos dois sítios de amostragem.

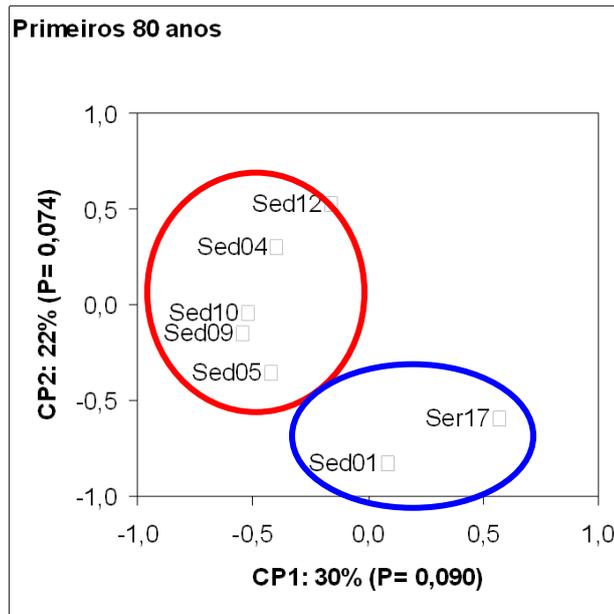


Figura 10: A Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com a janela temporal de 80 anos evidenciando dois grupos divergentes. PC1 30 (P=0,090) e PC2 22 (P=0,074).

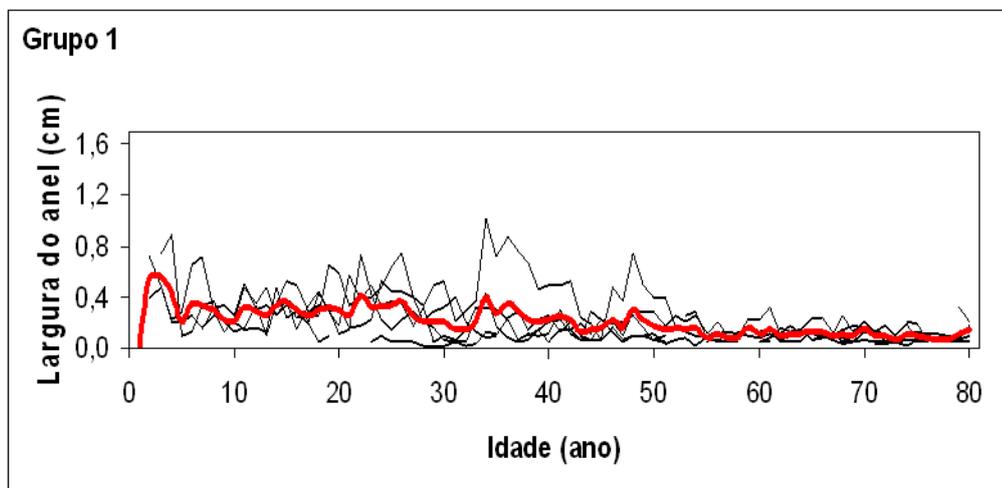


Figura 11: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 1 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 80 anos. A linha escura representa a média do tamanho dos anéis dos indivíduos.

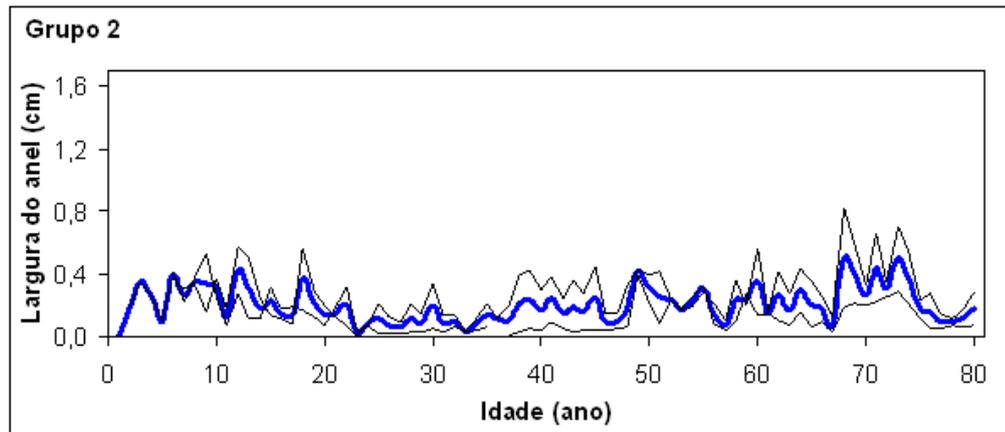


Figura 12: Curvas de crescimento dos indivíduos do grupo 2 evidenciado pela PCA realizada com a janela temporal de 80 anos. A linha escura representa a média do tamanho dos anéis dos indivíduos.

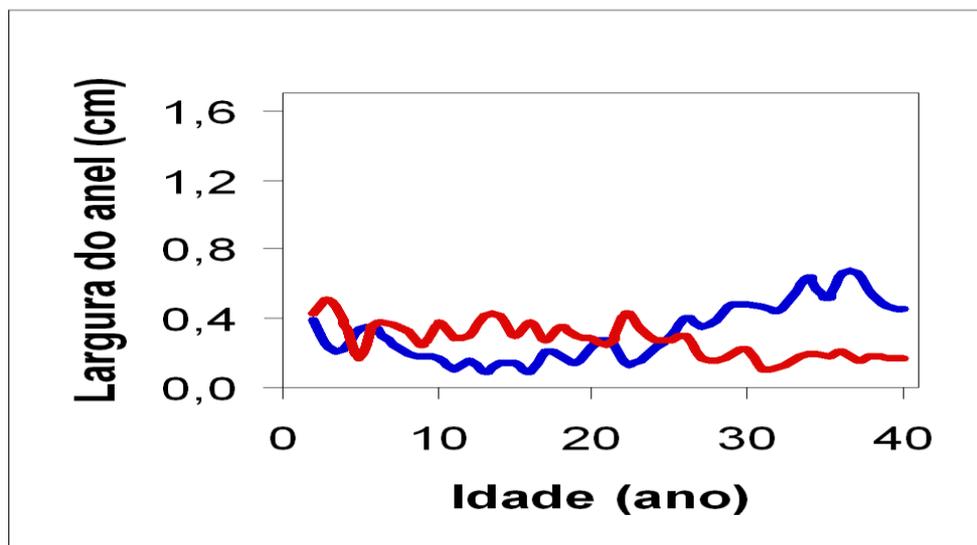


Figura 13: Curvas de crescimento dos indivíduos dos dois grupos, evidenciada pela PCA realizada com a janela temporal de 40 anos. A linha clara representa o grupo 1 e a linha escura o grupo 2.

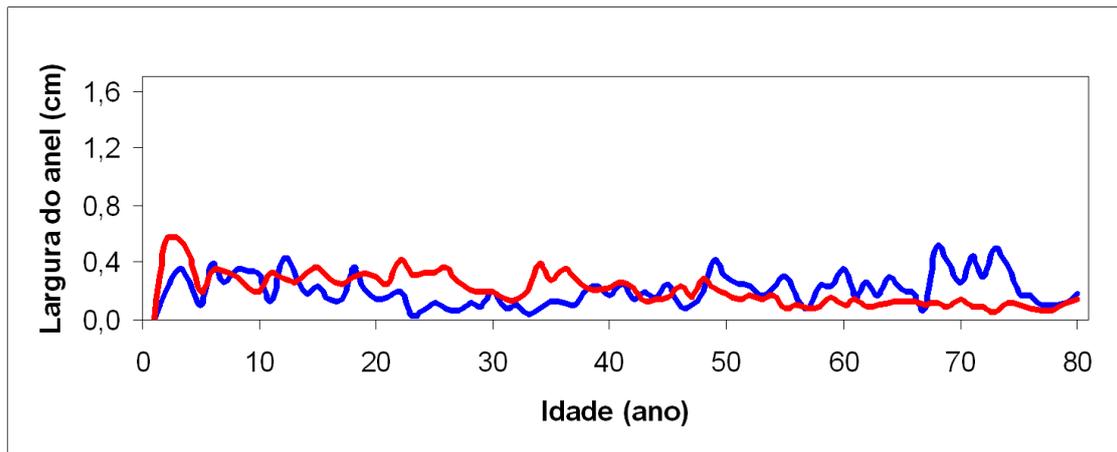


Figura 14: Curvas de crescimento dos indivíduos dos dois grupos, evidenciada pela PCA realizada com a janela temporal de 80 anos. A linha clara representa o grupo 1 e a linha escura o grupo 2.

8. DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a co-datação da série dos anéis de *Cedrela fissilis* foi bem sucedida. Entretanto a presença de zonas de crescimento dentro dos anéis e a existência de anéis pouco conspícuos tornou a datação uma tarefa bem difícil. Os anéis menores foram mais dificilmente distinguíveis. Esses anéis anormais são resultantes de uma atividade cambial descontínua. Anéis pouco conspícuos podem ser explicados pela história de vida das plantas quando a pressão por competição das árvores vizinhas muda a direção de crescimento da árvore (Dünisch et al. 1999). Essas dificuldades na datação representam uma importante limitação para estudos dendroecológicos com várias espécies de regiões tropicais e subtropicais (Dunwiddie 1979; Ogden 1981; Ash 1983; Norton et al. 1987; February & Stock 1998; Bergin 2000; Worbes 2002; Brienen & Zuidema 2005, Oliveira et al. 2009). A solução para esse problema é a realização de co-datações. Foi escassa a bibliografia encontrada sobre a ocorrência e morfologia desses anéis com problemas na espécie *C. fissilis*, indicando a necessidade de mais estudos a respeito da formação desses anéis, o que auxiliará na co-datação das amostras, principalmente das obtidas com trado de incremento.

8.1 Anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* e sua correlação com variáveis climáticas regionais.

Nossos resultados mostram que o crescimento radial de *Cedrela fissilis* foi influenciado pelas condições climáticas regionais. Para o período de 1925 a 2004 o crescimento da espécie esteve associado positivamente com a precipitação dos meses de dezembro a abril do ano anterior e também positivamente com a temperatura mínima

dos meses de dezembro a março do ano anterior, demonstrando que as condições climáticas na estação de crescimento anterior à formação do anel têm uma grande influência no crescimento radial de *C. fissilis* durante o ano da formação do anel.

A correlação positiva que encontramos entre crescimento dos anéis e a precipitação pode estar associada ao suprimento de água. A correlação com a temperatura mínima nos meses de verão da estação de crescimento anterior à formação do anel pode ser interpretada pelos efeitos diretos positivos de temperaturas mínimas mais altas no metabolismo da planta. As temperaturas mínimas durante o verão no local de estudo são mais baixas do que no restante da região de ocorrência de *C. fissilis* e talvez sejam limitantes para a espécie.

O crescimento radial da espécie foi favorecido por um maior aporte hídrico no período correspondente ao período mais quente para a região. Esse período corresponde ao final da fenofase de floração, que encerra em novembro e início da fenofase de frutificação que estende-se até agosto (Carvalho 2003). A correlação positiva entre o crescimento arbóreo do ano corrente com a precipitação do período de dezembro a abril do ano anterior indicaria que a espécie utiliza o suprimento de água, disponibilizado no ano anterior, que é mobilizada no início da próxima estação de crescimento. O armazenamento de água e as melhores condições de temperatura para o crescimento poderiam, portanto, estar influenciando na formação de reserva de nutrientes. Estudos anteriores, realizados por Dünisch & Puls *apud* Dünisch (2005) mostraram que o crescimento em meliáceas durante os primeiros dois meses, depois do período de dormência, resulta da mobilização de reserva de nutrientes. O armazenamento de água no caule já foi observado por Worbes (1999) para outra espécie do mesmo gênero. Ele realizou um estudo de atividade cambial em floresta tropical e observou que *C. odorata* apresentou uma saturação de água nas células do caule, o que proporcionou um maior

aumento no diâmetro do caule no final da estação chuvosa, quando a precipitação foi baixa e as folhas estavam senescentes ou caindo, tendo posteriormente uma diminuição no diâmetro do tronco.

A relação entre precipitação e o crescimento de *C. fissilis* foi bastante diferente da encontrada para a gimnosperma *Araucaria angustifolia*, estudada por Oliveira et al. (2009) na mesma região. Esta teve seu crescimento radial associado com a sazonalidade da temperatura e a variação no fotoperíodo Oliveira et al. (2009). Isso pode ser em decorrência do fato de que espécies com diferentes tipos de crescimento reagem de formas diferentes aos fatores climáticos, sendo *Cedrela fissilis* semi-decídua.

O fato dos resultados indicarem que *C. fissilis* é sensível ao aporte hídrico e que pode estar armazenando água para mobilizá-la no ano seguinte pode ser devido às estratégias de crescimento da espécie. Segundo a classificação de Borchert (1994), *C. odorata* pertence ao ecotipo de árvore decídua, com lenho de densidade média e uma capacidade de armazenar água no lenho depois da perda das folhas. Esses tipos funcionais classificados por Borchert (1994) indicam a capacidade que a planta tem de viver em locais com mais ou menos disponibilidade de água. A maioria das espécies do ecotipo citado são pioneiras, heliófilas com capacidade de ocupar ambientes secos, abertos (Borchert 1994). Ao que tudo indica, um bom suprimento hídrico ou a ausência de estresse hídrico no período anterior da fenofase de perda das folhas, proporciona um maior crescimento durante as fases que seguem com o retorno da atividade cambial. Isso pode ser devido a uma estratégia da planta que talvez tenha mecanismos fisiológicos similares a *Cedrela odorata*, podendo acumular água e talvez fotossintatos para que, na época da brotação e florescimento ela tenha maiores condições de aumento de biomassa.

Entretanto, as condições climáticas da região do presente trabalho, com ausência de sazonalidade na precipitação pluviométrica, que é alta, não indicam probabilidade significativa de ocorrência de déficit hídrico em nenhum mês do ano (Buriol et al. 1979). A correlação neutra ou negativa com a precipitação na estação de crescimento corrente pode ser explicada pelo fato de que o aporte hídrico desse período estaria sendo mobilizado para a produção de frutos ao invés de ser mobilizado para o incremento cambial. Sendo a região bem suprida hidricamente, tendo um alto índice pluviométrico, ao que tudo indica não há uma escassez de água no local que inibiria o crescimento, mas o próprio excesso de água pode estar causando um abortamento de flores e queda de frutos verdes, o que garantiria um acúmulo de energia para o crescimento do lenho no início da estação seguinte. Essa hipótese, porém, deve ser avaliada por outros estudos mais aprofundados relacionando atividade a cambial com a fenologia de *C. fissilis* sob as condições climáticas dessa região.

Um aspecto do clima do local de estudo que demandaria mais estudos é o efeito da neblina e da nebulosidade sobre o crescimento de *C. fissilis*, em função da proximidade da escarpa do planalto. Se por um lado a neblina diminui a radiação solar e por sua vez a atividade fotossintética durante o dia, por outro implica em aumento da temperatura mínima durante a noite e portanto das condições para o metabolismo da planta. A temperatura mínima, a temperatura medida nas primeiras horas do dia, indica as condições de umidade relativa do ar, pois durante o dia a radiação solar é absorvida pela Terra e atmosfera. Em noites encobertas a temperatura mínima média será mais alta do que quando o céu está descoberto, porque a reirradiação do calor sensível obtido pela incidência do sol na superfície da Terra durante o dia é retido pelas nuvens ou neblina durante a noite (Mota 1979).

8.2 Padrões de crescimento de *Cedrela fissilis*

O alinhamento da curva de crescimento das espécies por idade evidenciou dois padrões de crescimento para a espécie *Cedrela fissilis* distribuídos nos dois sítios amostrados. Um dos padrões indicou uma largada no crescimento logo nos primeiros anos de vida dos indivíduos com posterior redução na taxa de incremento radial. O segundo padrão evidenciou um crescimento inicial suprimido, com uma liberação no crescimento a partir dos últimos anos amostrados.

Esses resultados coincidem com os encontrados por Iwasaki-Marochi (2007) para a mesma espécie, que detectou dois padrões de crescimento em comprimento (altura) distintos na evolução do crescimento nos sete primeiros anos de vida. Iwasaki-Marochi (2007) observou que alguns indivíduos tiveram um alto crescimento em altura, atingindo aos sete anos de idade a altura em torno de 5 m. Esses indivíduos situavam-se em um plantio de *Pinus*, sendo a data do primeiro desbaste do plantio de *Pinus*, com provável limpeza da área, coincidente com a liberação do crescimento do cedro, provavelmente pelo favorecimento das condições locais para o crescimento da espécie. Outros indivíduos, que desenvolveram-se em uma área de floresta já estabelecida, apresentaram um baixo crescimento até os sete anos, em torno de 0,7 m de altura, sendo que após houve um rápido crescimento.

Quando observamos o formato das curvas de crescimento, vemos que em ambos os grupos ocorreram um período de maior crescimento em largura, esses períodos podem ser considerados como eventos de liberação de crescimento (Brienen & Zuidema 2006). O formato das curvas dos padrões de crescimento exclui, provavelmente, outras causas que não sejam abertura de clareiras na copa, no caso do grupo 1 e o acesso ao dossel no caso do grupo 2.

Nos dois padrões de crescimento houve períodos de menor incremento cambial. No caso do grupo 2 esse período pode ser classificado como período de crescimento suprimido, em que o crescimento inicial é menor, ocorrendo uma liberação posterior no crescimento. Pelo formato da curva de crescimento do grupo 2 constata-se que, provavelmente, o sombreamento de outras árvores foi o responsável por essa supressão. Esse maior sombreamento ocorreu enquanto as plantas jovens ainda não alcançaram ao dossel. Observa-se que, na curva de crescimento do grupo 1, a planta tem um bom desenvolvimento inicial, evidenciando um possível crescimento em ambiente aberto, sem competidores diretos por luz, e esse crescimento vai gradativamente diminuindo, pois, quanto maior for o diâmetro do tronco, mais biomassa a planta terá que alocar para aumentar proporcionalmente o tamanho dos anéis, sendo que os anéis começam a ter um diâmetro proporcionalmente menor com o passar do tempo.

Nossos resultados sugerem que o crescimento de *Cedrela fissilis* é influenciado pelo suprimento de luz. O cedro apresenta uma alta capacidade de reagir aos fatores ambientais, demonstrando uma capacidade elástica de adaptação fisiológica às diferentes condições de luminosidade do ambiente (Pinheiro 1990). É uma espécie apta a viver em ambientes de vegetação em diversos estádios sucessionais (Carvalho 2003) assim como também apresenta um grande potencial de regeneração natural por via generativa ou por via vegetativa (Pinheiro 1990).

Os padrões de crescimento que observamos em *Cedrela fissilis* sugerem que a luz é o recurso que se torna mais limitante quando os níveis de nutrientes do solo aumentam em um gradiente produtivo. O aumento na altura pode explicar melhor a adaptação que permite aos indivíduos adquirir mais luz (Tilman 1988). Em uma floresta natural áreas abertas são partes essenciais da estrutura da vegetação.

As variações temporais na disponibilidade de luz controlam fortemente os padrões de crescimento em floresta tropical. Períodos de grande crescimento depois de distúrbios ocasionados por distúrbios na copa (liberações) são necessários para a regeneração bem sucedida da copa e para o recrutamento de novas plantas. Porém, o estudo sobre como essas clareiras influenciam as taxas de crescimento das plantas é difícil porque exige longos períodos de recolhimento de dados. O presente trabalho evidenciou a possibilidade de estudar a influência da abertura de clareiras no crescimento de árvores a partir dos anéis de crescimento, corroborando a afirmação de Brienen & Zuidema (2006) de que a recente detecção de anéis anuais em florestas tropicais abre novas oportunidades, inclusive para estudos, sobre a dinâmica de clareiras.

REFERÊNCIAS

- ASH, J. (1983). *Growth rings in Agathis robusta and Araucaria cunninghamii from tropical Australia*. Australian Journal of Botany 31, p.269–275.
- BERGIN, D. O. (2000). *Current knowledge relevant to management of Podocarpus totara for timber*. New Zealand Journal of Botany 38, p.343–359.
- BERNARDES, N. (1997). *Bases geográficas do povamento do Estado do Rio Grande do Sul*. Ijuí Ed. Ijuí. 97p.
- BERTOLETTI, A. C. R. (1995). *Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza PRÓ-MATA*. Divulgação do Museu de Ciência e Tecnologia – UBEA/PUCRS, Porto Alegre, n.2. 47 p.
- BONINSEGNA, J.A. VILLALBA, R. AMARILLA, L. and OCAMPO, J. (1989). *Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina*. AIWA Bull. V.10, n. 2, p. 161-169
- BORCHERT, R. (1994). *Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees*. Ecology, v. 75, n. 5, p. 1437-1449
- BRIENEN R. J. W. & ZUIDEMA P. A. (2005) *Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis*. Oecologia 146, p.1–12.
- BRIENEN R. J. W. & ZUIDEMA P. A. (2006). *Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis*. Journal of Ecology v. 94, p. 481–493.
- BURIOL, G.A., SACCOL, A.V., ESTEFANEL, V., HELDWEIN, A.B. & SCHNEIDER, F.M. (1979). *Distribuição geográfica das disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no estado do Rio Grande do Sul*. Revista do Centro de Ciências Rurais 9, p. 111-169.

- CARVALHO, P. E. R. (2003) *Espécies Arbóreas Brasileiras*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR. 1035p.
- COOK E. R. (1985) *A time series analysis approach to tree-ring standardization*. Ph. D. Thesis, University of Arizona, Tucson.
- COOK E. R. & KAIRIUKSTIS L. A. (1990). *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Science*. Kluwer, Amsterdam.
- DÜNISCH, O. (2005). *Influence of the El-niño southern oscillation on cambial growth of Cedrela fissilis Vell. in tropical and subtropical Brazil*. J. Appl. Bot. Food Qual. n. 79, p. 5-11.
- DUNWIDDIE, P. (1979). *Dendrochronological studies of indigenous New Zealand trees*. New Zealand Journal of Botany 17, p.251–266.
- FEBRUARY E. C. & STOCK W. D. (1998). *An assessment of the dendrochronological potential of two Podocarpus species*. The Holocene v.8,n.6, p.747–750.
- HOLMES, L. R. (1983). *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. Tree-ring Bulletin 43, p.69–78.
- IBGE (1986). Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro : IBGE
- INOUE, M. T. (1983). *Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas*. In: INOUE, M. T. REICHMANN NETO, F., CARVALHO, P.E.R. TORRES.M.AV. *A silvicultura de espécies nativas*. Curitiba FUPEF, p.1-18.
- IWASAKI-MAROCHI, C. (2007). *Anéis anuais de crescimento do Cedro (Cedrela fissilis - Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 140p.
- LONGHI, R.A. (1995). *Livro das Árvores: Árvores e Arvoretas do Sul*. Porto Alegre: L&PM. 175p.

- MARCATI, C. R., ANGYALOSSY, V. EVERT, R. F. (2006). *Seasonal variation in wood formation of Cedrela fissilis (Meliaceae)*. IAWA Journal, v. 27, n. 2, p.199–211.
- MATTOS, P.P.; SEITZ, R.A.; MUÑIZ, G.I.B (1999). *Identification of annual growth rings base on periodical shoot growth*. In: WIMMER, R.; VETTER, R.E. (Ed.). *Tree ring analysis: biological, methodological and environmental aspects*. Wallingford, CABI, p.139-145.
- MOTA, F.S. (1979). *Meteorologia Agrícola*. Livraria Nobel S.A. São Paulo, 4º Ed. 376p.
- NORTON D. A., PALMER J. G. & OGDEN J. (1987). *Dedrochronological studies in New Zealand. I. An evaluation of tree age estimates based on increment cores*. New Zealand Journal of Botany 25, p.373–383.
- OGDEN, J. (1981). *Dendrochronological studies and the determination of tree ages in the Australian tropics*. Journal of Biogeography 8, p.405–420.
- OLIVEIRA, J. M. (2003). *Padrões e processos vegetacionais em ecótonos de campos e floresta com araucária*. In: *Ecosistemas Brasileiros: Manejo e Conservação* (ed V. Claudino-Salles), Expressão Gráfica, Fortaleza p. 383–391.
- OLIVEIRA, J. (2007). *Anéis de crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 112p.
- OLIVEIRA, J. M. ROIG, F. A. & PILLAR, V.D. (2009). *Climatic signals in tree-rings of Araucaria angustifolia in the southern Brazilian highlands*. Austral Ecology.
- PENNINGTON, T.D.(1981). *A monograph of neotropical Meliaceae*. New York, New York Botanical Gardens, 470p.

- PILLAR, V. D. (2006). *MULTIV. Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling*. Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Available from URL: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>
- PINHEIRO, A.L. MARAGON, L. C. PAIVA, G. L. R. M.(1990). *Características fenológicas do Cedro (Cedrela fissilis Vell.) em Viçosa, Minas Gerais*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 21, p.21-26.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1996) *Tree Rings and Environment: Dendroecology*. Hall Haupt Publishers, Berne and Stuttgart, Vienna. 609p.
- STOKES, M.A.; SMILEY, T.L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. Chicago: The University of Chicago Press.
- SUERTEGARAY, D. M. A. (1996). *Rio Grande do Sul: morfogênese da paisagem questões para a sala de aula*. Boletim Gaúcho de Geografia. n. 21, p.117-132.
- TILMAN, D. (1988). *Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities*. Princeton: Princeton University Press.360p.
- WORBES, M. (1999). *Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela*. Journal of Ecology 87, p.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 v. 20, n.1-2, p. 217-231
- WORBES, M. (2002). *Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests*. Journal of Tropical Ecology 18, p.581–597.
- WORBES M., STASCHEL R., ROLOFF A. & JUNK W. J. (2003). *Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon*. Forest Ecology and Management 173, p.105–123.

APÊNDICES

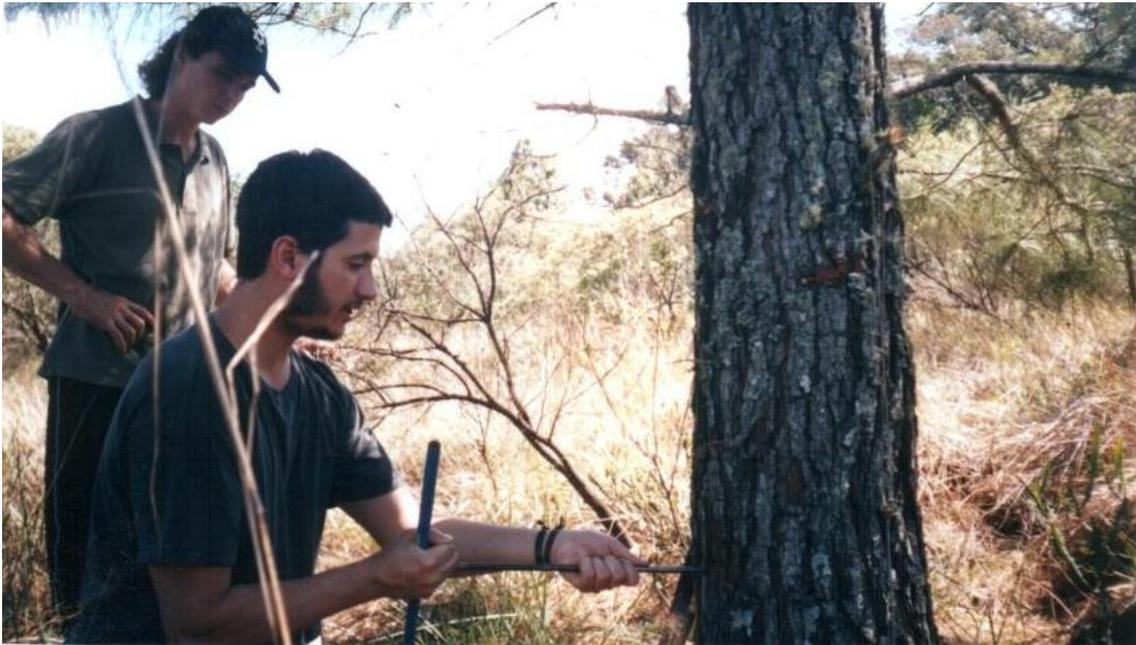
Apêndice 1: Foto tirada do limite da escarpa do Planalto, na localidade de amostragem, Parque PRO-MATA. A imagem evidencia o limite do Planalto com a Zona Litorânea.
Fonte: autora



Apêndice 2: Imagem extraída do Google Earth evidenciando os dois sítios de coleta.



Apêndice 3: Coleta de amostras com a utilização do trado de incremento. Fonte: autora



Apêndice 4: Trado de incremento. Fonte: autora



Apêndice 5: Amostras armazenadas (em canudo plástico) para a realização do transporte até o laboratório de análises dendrocronológicas. Fonte: autora



Apêndice 6: Mesa de medição e amostras coladas em suportes de madeiras.

