

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Dendroecologia e composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil

Claudio Roberto Anholetto Junior

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2013**

Claudio Roberto Anholetto Junior
Biólogo

Dendroecologia e composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil

Orientador:
Prof. Dr. **CLAUDIO SÉRGIO LISI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Anholetto Junior, Claudio Roberto
Dendroecologia e composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil / Claudio Roberto Anholetto Junior. - - Piracicaba, 2013.
90 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Cedro 2. Climatologia 3. Dendrocronologia 4. Densitometria de raios X 5. Estrutura da madeira 6. Fenologia I. Título

CDD 634.9756
A596d

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Geral	11
2.2 Específico	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Características do clima no nordeste em Sergipe	13
3.2. Princípios da Dendrocronologia	14
3.3. Anéis de crescimento e estrutura anatômica da madeira	15
3.4. Técnicas dendrocronológicas para a análise dos anéis de crescimento	16
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Área de estudo	21
4.1.1 Cedro de São João, SE	22
4.1.2 Poço Verde	23
4.1.3 Porto da Folha	25
4.2 Registro climático das estações meteorológicas das áreas de estudo	26
4.3 Coleta de amostras do lenho das árvores de <i>Cedrela odorata</i> : anatomia, dendrocronologia, e análise de isótopos estáveis de ¹³ C	27
4.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de <i>Cedrela odorata</i>	28
4.4.1 Caracterização anatômica da estrutura dos anéis de crescimento e do lenho das árvores de <i>Cedrela odorata</i>	29
4.4.1.1 Caracterização dos anéis de crescimento	29
4.4.1.2 Caracterização anatômica macroscópica	29
4.4.1.3 Caracterização anatômica microscópica	29
4.4.2 Dendrocronologia	30
4.4.2.1 Preparo das amostras do lenho para dendrocronologia	30
4.4.2.2 Mensuração, sincronização e obtenção das séries de anéis de crescimento	31
4.4.3 Dendroclimatologia	32
4.5 A densitometria de raios X na análise do lenho e dos anéis de crescimento de <i>Cedrela odorata</i>	33
4.5.1 Preparo das amostras do lenho para densitometria de raios X	33

4.5.2 Montagem do perfil radial de massa específica aparente do lenho	34
4.5.3 Parâmetros de massa específica aparente do lenho	34
4.5.4 Análise estatística dos resultados.....	34
4.6 Análises isotópicas dos anéis de crescimento de <i>Cedrela odorata</i>	34
4.6.1 Preparo das amostras do lenho para análises isotópicas.....	34
4.6.2 Parâmetros de análises de isótopos estáveis.....	36
4.6.3 Análise dos dados	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Sítios de estudo	39
5.1.1 Cedro de São João.....	39
5.1.2 Poço Verde	40
5.1.3 Porto da Folha	43
5.2 Fenologia, formação de anéis de crescimento e relação com o clima.....	45
5.3 Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores de <i>Cedrela odorata</i>	50
5.3.1 Características anatômicas.....	50
5.3.2 Densitometria de raios X.....	51
5.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de <i>Cedrela odorata</i>	54
5.4.1 Análise de Crescimento	54
5.5 Dendrocronologia de <i>Cedrela odorata</i>	59
5.6 Dendroclimatologia de <i>Cedrela odorata</i>	66
5.7 Isótopos estáveis de carbono e eficiência intrínseca no uso da água das árvores de <i>Cedrela odorata</i>	72
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS.....	81

RESUMO

Dendroecologia e composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil

O Estado de Sergipe, apesar de ser o menor entre os estados da confederação, apresenta uma grande diversidade de ambientes. Sob o regime climático litorâneo, florestas tropicais prosperam contanto com grande disponibilidade hídrica, enquanto no interior, formações florestais rústicas crescem em um dos ambientes mais secos do Brasil. A dendrocronologia trata-se de uma ciência fundamentada em uma série de princípios, que devem ser atendidos em sua totalidade, e assim o foram nos diversos ambientes de Mata Atlântica/Caatinga sergipanos. Esta ciência, capaz de proporcionar estimativas acuradas da idade das árvores, sua dinâmica na comunidade, e relação com o clima, foi utilizada neste trabalho em busca de seu objetivo, tido como o estudo da espécie *Cedrela odorata*, e a influência de diversos fatores ambientais sob seu crescimento diamétrico, periodicidade de formação dos anéis de crescimento e para o desenvolvimento de cronologias a partir dos mesmos. A pesquisa foi desenvolvida em três diferentes sítios, localizados nos extremos geográficos do Estado de Sergipe, sob o domínio de atuantes climáticas díspares. Amostras de lenhos foram retiradas no DAP do tronco para as avaliações dendrocronológicas, de densitometria de raios X e isotópicas. Verificou-se a presença de grande sazonalidade climática e fenológica em todos os ambientes. Observou-se que a formação dos anéis de crescimento destas árvores foi regulada principalmente pela precipitação da estação corrente de crescimento e pela temperatura da estação anterior à esta, indicando que possuem potencial para estudos paleoclimáticos. A análise isotópica exibiu a tendência de diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ ao longo dos anos e o aumento dos valores da Eficiência do uso da água (iWUE). Houve diferença significativa no ritmo de crescimento do tronco das árvores entre os diferentes sítios, porém em todos eles a formação anual dos anéis de crescimento e sua relação com o clima foi confirmada, principalmente para o inédito ambiente de Caatinga, que agora pode ser inserido no cenário internacional de estudos dendrocronológicos.

Palavras-chave: Dendroclimatologia; Anatomia da madeira; Densitometria de raios X

ABSTRACT

Dendroecology and isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) of the growth rings of *Cedrela odorata* trees, Meliaceae, from Caatinga and Atlantic Rainforest in the State of Sergipe, Brazil

The State of Sergipe, despite being among the smallest states of the confederation, has a wide range of environments. Under the regime coastal climate, rainforests thrive provided with great water availability, while inside, rustic forest formations grow in one of the driest environments in Brazil. Dendrochronology it is a science based on a series of principles that must be attended in its totality, and so they were in the different Tropical Rainforest/Caatinga environments in Sergipe. This science, capable of providing accurate estimates of trees age, their community dynamics, and relation to climate, was used in this work in pursuit of his goal, considered to be the study of the species *Cedrela odorata*, and the influence of several environmental factors on its diameter growth, timing of formation of the growth rings and for developing chronologies out of the same. The research was conducted at three different sites, located in the geographical extremes of the State of Sergipe, in the grip of disparate operating climate. Sample logs were removed from the trunk's DBA to the dendrochronological assessments, X-ray densitometry and isotopic. There was the presence of large climatic and phenological seasonality in all environments. It was observed that these trees growth rings formation is governed mainly by the current station precipitation and the prior station temperature, indicating that they have potential for palaeoclimatic studies. Isotopic analysis showed a trend of decreasing $\delta^{13}\text{C}$ values over the years and the values increased efficiency of water use (IWUE). There was significant difference in the rate of growth of the tree trunk between the sites, but in all of them the formation of annual growth rings and their relationship with climate was confirmed, especially to the unprecedented Caatinga environment, which now can be inserted into the international scenario of dendrochronological studies.

Keywords: Dendroclimatology; Wood anatomy; X-ray densitometry

1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna discute os efeitos de suas atividades sobre o ambiente devido à constatação das mudanças climáticas que o planeta enfrenta. Exemplo disto é a concentração do dióxido de carbono (CO₂), que sofreu um aumento de 280 para 360 partes por milhão ao final do século XX. Estudos indicam que 60% do incremento anômalo observado na temperatura média do planeta nas últimas décadas podem ser creditados a este aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Os efeitos desta e outras alterações são notados em todo o planeta, através de chuvas intensas em algumas regiões, secas em outras, perdas na agricultura, desertificação, dentre outros.

Tais fenômenos climáticos anômalos podem ser observados na região Nordeste do Brasil, que possui seu regime climático fortemente influenciado pelos respectivos El Niño (EN) e Oscilação Sul (SO), os quais acabam por caracterizar um fenômeno global oceânico/atmosférico conhecido como ENSO (Aragão, 1998), que associado ao fenômeno do Dipolo do Atlântico (DA) regula as taxas anuais de precipitação e temperatura na região.

As anomalias climáticas relacionadas ao ENSO e ao DA são persistentes, e os períodos de duração das secas e enchentes na região Nordeste do Brasil estão estritamente relacionados aos períodos de atuação, intensidade e cobertura destes mecanismos dinâmicos de grande escala. Todavia, muitos aspectos dessa variabilidade climática permanecem pouco documentados em relação às suas variações espaço/temporais. Desta forma, uma oportunidade quanto à compreensão desses fenômenos, e obtenção de maiores informações sobre estas oscilações se dá pelo desenvolvimento de cronologias de anéis de crescimento das espécies arbóreas presentes no Bioma Caatinga.

Segundo Botosso (2002), estas cronologias, apesar de raras no Brasil, são de grande importância tanto para as Ciências Florestais como para a Ecologia. Proporcionam uma fonte única de dados para os estudos de fenômenos ecológicos de longo prazo, como a dinâmica de populações de árvores, o desenvolvimento e produtividade de ecossistemas, além da variabilidade temporal do ambiente.

A flora do Bioma Caatinga é caracterizada pela caducifolia de grande parte de suas espécies e ocupa cerca de 1.000.000 Km² - 10% do território nacional -, distribuídos por nove Estados, entre eles Sergipe, onde é presente em 50% do território. Está circunscrita no domínio do Semiárido, entre as isoetas de 300-800 mm de precipitação média anual, com clima quente (BSs'h') (KOPPEN, 1900), e temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C, com solos indo de rasos e pedregosos, a profundos e arenosos. Trata-se de um Bioma com domínio de múltiplas fisionomias e variados conjuntos florísticos, devido à diversidade de condições físicas e climáticas da região (RODAL, 1992; QUEIROZ, 2009). A vegetação é caracterizada por arbustos e árvores de porte baixo ou médio (4 a 7 metros de altura), gramíneas, cactáceas e bromeliáceas (Andrade-Lima, 1981).

Para análise dos anéis de crescimento, verificação de sua formação anual no lenho das espécies arbóreas, correlação com o clima e quantificação do carbono fixado, são recomendados métodos para regiões tropicais, como marcações do câmbio vascular, análises anatômicas do xilema e suas correlações com fenofases e estacionalidade climática, densitometria de raios X, datação cruzada, medições de radiocarbono e $\delta^{13}\text{C}$, além do cálculo da taxa de carbono fixado nos anéis de crescimento (Vetter, 2000, Botosso & Vetter, 1991).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O projeto de pesquisa tem como objetivo principal estudar populações da espécie *Cedrela odorata* L., ocorrente nos Biomas Caatinga e Mata Atlântica, em Sergipe, no que se refere a dendroecologia, obtendo cronologias de larguras dos anéis de crescimento e correlacionando-as com registros climáticos instrumentais de precipitação e temperatura, além de observar os padrões de crescimento das árvores e sua constituição isotópica de ^{13}C .

2.2 Específicos

1) Verificar a formação de camadas de crescimento no xilema da espécie *Cedrela odorata* através de estudos anatômicos; 2) Determinar a anualidade de formação dos anéis de crescimento; 3) Construir cronologias da largura dos anéis de crescimento e correlacioná-las com registros climáticos regionais mostrando uma relação entre ambos; 4) Analisar a qualidade da madeira por meio de análises de densitometria de raios X; 5) Realizar análises da composição isotópica do carbono alocado nos anéis de crescimento, a fim de, com o método da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, inferir sobre as condições de crescimento a que as árvores estiveram expostas durante cada ano de seu desenvolvimento, e sua resposta aos diferentes padrões anuais; 6) Através das correlações entre as diferentes metodologias propostas e complementares umas as outras, realizar interpretações sobre os ecossistemas baseados nos anéis de crescimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características do clima no nordeste em Sergipe

A distribuição espacial das chuvas na região no Estado de Sergipe é complexa, pois diversos sistemas de circulação atmosférica atuam na região (Farias & Correia, 2008). O clima semiárido no interior apresenta poucas chuvas (<500 mm/ano) enquanto o litoral leste é chuvoso (>1500 mm). Ferreira & Mello (2005) descreveram que os principais mecanismos que atuam sobre o regime de chuvas na região nordeste são: (i) Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); (ii) Temperatura da superfície do mar (TSM), na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar; (iii) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico; (iv) Frentes Frias; (v) Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis. Além desses mecanismos, os autores destacam ainda as linhas de Instabilidade e do efeito das brisas marítima e terrestre na precipitação.

No litoral do nordeste, as chuvas de outono e inverno (abril-julho) correspondem a 60% do total anual, enquanto que os meses mais secos (setembro-dezembro) representam 10% da precipitação anual. As frentes frias e os ventos do sudeste perpendiculares à costa, que convergem com a brisa terrestre (continente-oceano), são apontados como o principal mecanismo gerador de precipitação na região, entre abril-julho (GALVÃO, 1999). O sistema oceano-atmosfera no Atlântico parece ser o principal fator condicionador dos anos secos ou úmidos na região. O padrão de TSM (afetado pelos ventos superficiais) exerce controle hidrostático na baixa atmosfera, de modo que a gradiente de temperatura norte-sul aumenta a gradiente de pressão ao sul, inibindo a precipitação. Os anos secos tendem a coincidir com a fase baixa do ENOS (quando ocorre aquecimento anormal da TSM) no Pacífico Equatorial, porque nesta situação em geral a ZCIT tende a ficar mais ao norte. Nos anos úmidos o comportamento tende a ser o inverso. O relevo da região provoca efeitos orográficos significativos sobre a distribuição espacial da precipitação, que se somam aos efeitos de circulação global (GALVÃO, 1999).

O Estado de Sergipe (de 9°31'S a 11°33'S e 36°25'W a 38°14'W) apresenta irregularidade espacial e temporal da distribuição da precipitação pluviométrica, decrescente do litoral para o semiárido. No litoral são observadas isoietas superiores a 1600 mm, enquanto que no semiárido a precipitação anual é inferior a 800 mm

(até 500 mm). O período chuvoso em Sergipe concentra-se entre abril e agosto, com o máximo da precipitação entre maio-junho (COSTA *et al.*, 2004). O regime pluviométrico em Sergipe está associado às condições atmosféricas e aos sistemas sinóticos que atuam nos setores Norte e Leste do Nordeste brasileiro e, possui como característica grande variabilidade interanual (com desvio da média climatológica superior ao desvio padrão). Em Sergipe ocorre transição dos regimes pluviométricos do norte (com máximos em fevereiro-maio) e do sul do nordeste (dezembro-fevereiro), que causa veranicos em maio (COSTA *et al.*, 2004).

3.2 Princípios da Dendrocronologia

Os primeiros registros relatando que as condições ambientais interferem no desenvolvimento das árvores e na largura dos anéis de crescimento são atribuídos a Leonardo da Vinci, que no século XVI definiu algumas das bases teóricas desta ciência (SCHWEINGRUBER, 1988). A dendrocronologia como ciência da datação dos anéis de crescimento de árvores de climas sazonais, foi iniciada em 1901 por A. E. Douglass, ao estudar as correlações entre a largura dos anéis de crescimento de *Pinus* sp e a intensidade de seca em diferentes altitudes de regiões do Estado do Arizona, EUA, (TOMAZELLO F°, 1995). A palavra dendrocronologia provém do grego: “*dendros*” significa “árvore”, “*cronos*” tempo e “*logos*” é ciência (FRITTS, 1976). Por conseguinte, configura o ramo das ciências que data os anéis de crescimento do lenho das árvores, e se utiliza destas informações em estudos ambientais, relacionando os padrões de crescimento das árvores às condicionantes ambientais (FRITTS, 1976).

A dendrocronologia reúne grande quantidade de informações de alto valor para a tomada de decisões no manejo florestal, como registros de crescimento, qualificação e acompanhamento dos volumes de madeira produzidos, assim como a estimativa de biomassa e do CO₂ fixado na madeira. Admite ainda a realização de estudos de autoecologia, avaliação ou resposta de atividades silviculturais e de reconstrução de eventos climáticos (ALVARADO, 2009).

3.3 Anéis de crescimento e estrutura anatômica da madeira

A periodicidade da atividade do câmbio vascular é decorrente de alterações na temperatura, fotoperíodo e/ou precipitação, com fatores endógenos inerentes a cada espécie controlando seu ritmo de crescimento (FAHN ET AL., 1981; WORBES, 2002). Em espécies tropicais, condições como altitudes elevadas, precipitação e déficit hídrico, entre outras, induzem a redução e/ou a dormência do câmbio vascular, resultando na formação dos anéis de crescimento (TOMAZELLO F^O, 1999).

Os anéis de crescimento são camadas de células formadas no xilema das espécies arbóreas pela divisão e diferenciação das células cambiais e caracterizam-se pelas mudanças estruturais abruptas nos seus limites (IAWA COMMITTEE, 1989). Em espécies tropicais e subtropicais, os anéis de crescimento apresentam diversidade na estrutura anatômica da camada de crescimento, quanto (i) aos elementos de vasos (tamanho, espessura da parede, frequência, distribuição) representando anéis porosos, semi-porosos ou difusos; (ii) fibras (tamanho e espessura da parede); (iii) bandas de parênquima marginal; e (iv) raios (distensão tangencial) (IAWA COMMITTEE, 1989; VETTER, 2000).

A quantidade de crescimento, determinada por duas medições, uma no início de um período e a outra ao final deste denomina-se incremento, o qual determina o rendimento, e pode visualizar-se como a taxa de acumulação de um produto (ALDER e SYNNOTT, 1992).

Os anéis anuais de crescimento das árvores permitem reconstruir seu desenvolvimento a partir da comprovação da anualidade de formação destas estruturas (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001), o que também poderá ser aplicado em espécies da Caatinga, ao passo que para desenvolver plenamente a dendrocronologia em ecossistemas tropicais e subtropicais, se faz necessária a caracterização de espécies que produzam anéis de crescimento anuais, e a elucidação das condições ambientais que os determinam (WORBES, 2002).

3.4 Técnicas dendrocronológicas para a análise dos anéis de crescimento

Em regiões tropicais a necessidade de informações sobre a taxa de crescimento e idade de árvores proporcionou o desenvolvimento de diversos métodos analíticos, classificados como métodos estáticos (amostras extraídas das árvores) ou dinâmicos (utilizando árvores vivas) (FAHN et al., 1981).

Os métodos estáticos compreendem o exame macroscópico do lenho, análises da estrutura microscópica do xilema, incluindo técnicas com uso de energia (luz refletida ou transmitida, laser, densitometria de raios X, radiação gama), análise de imagens e de isótopos (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001). Estes métodos possibilitam a determinação e descrição da periodicidade da atividade do câmbio vascular, demonstrando a formação de zonas de incremento anuais, e fornecendo registros históricos do crescimento das árvores.

A partir dos exames macroscópicos do lenho, pode-se realizar a medida da largura dos anéis de crescimento, parâmetro fundamental para estudos climáticos ou de ocorrência de eventos ambientais. É realizada em um instrumental constituído de estereomicroscópio dotado de retículo na ocular e de uma mesa de medição acoplada eletronicamente a um computador, que armazena e processa os dados (SCHWEINGRUBER, 1988).

Dentre os métodos dinâmicos, um dos mais utilizados é a indução de ferimento do câmbio por incisão na casca, que em decorrência da cicatrização dos tecidos resulta na marcação do xilema (janela de Mariaux) (MARIAUX, 1969; BOTOSSO e TOMAZELLO F^O, 2001). O tecido contendo a cicatriz da incisão na casca evidencia a quantidade de anéis de crescimento formados entre as datas da incisão e da coleta, comprovando a anualidade de formação dos anéis de crescimento (FAHN ET AL., 1981; BOTOSSO e VETTER, 1991; ROIG, 2000; VETTER, 2000).

A fenologia é o estudo da ocorrência de eventos biológicos repetitivos, de suas causas em relação às forças bióticas (genéticas) e abióticas (clima; fotoperíodo), e das inter-relações entre as fases caracterizadas por estes eventos. Ainda são poucos os estudos sobre a correspondência entre as fases fenológicas, a atividade cambial e a presença de anéis de crescimento em espécies tropicais e

subtropicais, mas estes verificaram nítida relação entre a queda das folhas, os fatores climáticos e a atividade cambial (ROIG, 2000).

O elemento carbono é encontrado no ambiente natural composto principalmente pelos isótopos ^{12}C , ^{13}C e ^{14}C . Os dois primeiros são estáveis e apresentam maior abundância isotópica, e o ^{14}C é radioativo e apresenta abundância isotópica menor (DAI e FAN, 1986).

A razão dos dois isótopos estáveis ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) varia nos materiais naturais, de acordo com o fracionamento isotópico que ocorre durante processos físicos, químicos e biológicos, permitindo a reconstrução dos registros de características ambientais regionais como precipitação, temperatura, intensidade luminosa e umidade através da composição isotópica do vegetal (STUIVER e BRAZIUNAS, 1987; LEAVITT, 1990). A medida desta razão isotópica é realizada por espectrometria de massas (LEAVITT, 1990).

Os isótopos estáveis de carbono em anéis de crescimento de árvores vêm sendo aplicados em inúmeros estudos como indicadores potenciais do passado climático e na reconstrução da variação de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico relacionado ao ciclo global do carbono (STUIVER e BRAZIUNAS, 1987), e em estudos de poluição (LEAVITT, 1990).

Os anéis de crescimento exibem as influências que os eventos climáticos exercem sobre o crescimento das árvores. Sua análise pode elucidar as condições ambientais a que as mesmas foram expostas no passado, possibilitando reconstruções de períodos anteriores àqueles registrados por instrumentos de medição. Por este motivo os anéis de crescimento têm sido utilizados na reconstrução de climas passados, assim como para avaliar os efeitos de mudanças climáticas e ambientais recentes sobre o crescimento das árvores (JACOBY e D'ARRIGO, 1997). Entre todos os Biomas de nosso país, a Caatinga é o que sofre maior influência do fenômeno ENSO, porém pouco se sabe sobre sua influência sobre a vegetação, bem como sobre o papel que apresenta em relação às concentrações dos gases estufa, e como remove ou libera o carbono para a atmosfera. Para compreender a dinâmica florestal da região de Caatinga, suas adaptações ao clima e sua contribuição no sequestro de carbono e no ciclo global de

carbono, é essencial conhecer a capacidade de acúmulo deste elemento nos troncos das árvores, bem como a dinâmica de seu crescimento e a formação anatômica de seu lenho. Um aspecto importante na avaliação destes processos é a determinação da idade das árvores, pois por meio da distribuição etária da população arbórea, pode-se estimar o tempo médio de permanência do carbono na vegetação.

3.5. Dendrocronologia no nordeste brasileiro

Estudos de dendrocronologia no nordeste ainda são poucos. Os primeiros trabalhos foram realizados por Tsuchiya (1988, 1990, 1995) indicando que diversas espécies da Caatinga formam anéis de crescimento e possibilitam construções de cronologias, que foram relacionadas aos registros de déficit hídrico do solo (NOGUEIRA JÚNIOR, 2011). Mais recentemente, Silva (2006) demonstrou anéis de crescimento anuais em *Croton sonderianus* Mull. Arg. na Caatinga de Pernambuco, construindo correlações entre anéis de crescimento e indicando seu potencial para dendroecologia e orientando usos mais adequados desta espécie pela população regional.

A partir de 2009, com a implantação do Laboratório de Botânica: Anatomia Vegetal e Dendroecologia na Universidade Federal de Sergipe, novos estudos vem sendo realizados, com a parceria dos Laboratórios de Anéis de Crescimento da ESALQ/USP, Piracicaba e, do IANIGLA/CONICET, Mendoza, Argentina, principalmente. Trabalhos de iniciação científica e de pós-graduação estão identificando espécies com anéis de crescimento anuais e potenciais para a dendroecologia, além da divulgação dos conceitos de dendrocronologia junto a comunidade regional.

Dentre os trabalhos deste grupo, destacam-se trabalhos de Pós-Graduações, como uma dissertação de Mestrado do Núcleo de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Caatinga, que estudou a espécie *Pachira stenopetala* Casar Malvaceae (identificada por especialista, que inicialmente foi mencionada como *Pseudobombax marginatum*), (NOGUEIRA JÚNIOR, 2011). A *Cedrela odorata* L. Meliaceae, esta sendo estudada em uma dissertação de mestrado do Programa de

Pós-Graduação em Recursos Florestais do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. A *Poincianella pyramidalis* (Tull.) L. P. Queiroz Leguminosae-Caesalpinioideae, esta sendo estudada em uma tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação PRODEMA/UFS. Outras espécies como a *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan Leguminosae-Mimosoideae, estão sendo estudadas por bolsistas de Iniciação Científica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O Estado de Sergipe (Figura 1) é o menor dos Estados brasileiros, localiza-se na Região Nordeste e tem por limites o Oceano Atlântico à Leste, o Estado da Bahia à Oeste e ao Sul, do qual é separado pelo Rio Real, e ao Norte por Alagoas, do qual é separado pelo Rio São Francisco. Possui por capital Aracajú, e população estimada em 2.068.017 habitantes no ano de 2010, ocupando seus 21.910,348 Km² de área. Aproximadamente 85% de seu território encontra-se abaixo dos 300 m de altitude, e cerca de 47% de seu território encontra-se no Polígono das Secas, com a predominância de terras planas ou levemente onduladas. Seu clima é Tropical, com a presença de uma faixa úmida litorânea, e sua porção Ocidental possui clima Semiárido, com períodos de seca que podem se prolongar por quase um ano.

Partindo do objetivo de estudar áreas situadas em diferentes biomas, e adicionalmente sob o domínio de diferentes regimes climáticos, três locais dentro do Estado de Sergipe foram selecionados para o desenvolvimento deste estudo. A seleção destes locais levou em consideração a (i) posição geográfica – foram selecionados sítios de estudo locados nos extremos do Estado (i) existência de populações nativas - devido à sobre-exploração antrópica, espécimes de *Cedrela odorata* não são facilmente encontrados em Sergipe.



Figura 1 - Posicionamento e delimitação do Estado de Sergipe no Nordeste do território brasileiro

4.1.1 Cedro de São João, SE

Localizado na porção Norte do Estado de Sergipe, o município de Cedro de São João (Figura 2) possui área de 73 Km², e sua sede está a 20m de altitude em relação ao nível do mar (10°15'00"S 36°53'00"W). Como municípios limítrofes dispõem-se Propriá, São Francisco e Japoatã a Leste; Muribeca, Malhada dos Bois e Aquidabã a Oeste; e o município de Telha, ao Norte. Está localizado na mesorregião do Leste Sergipano, microrregião de Propriá, e insere-se na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, sub-bacia do Riacho Jacaré.

Segundo a classificação Köppen, o clima da região é do tipo As (Megatérmico de inverno chuvoso) e a precipitação média anual é de 800 mm, com seu período chuvoso concentrado entre os meses de Abril a Julho. A temperatura média do mês mais quente é de 28,8 °C, em Janeiro, e a do mês mais frio de 24,3 °C, em Julho, apresentando uma temperatura média anual de 26°C (IBGE, 2001).

Cedro de São João posiciona-se no limite entre as regiões do Leste e do Agreste Sergipanos, e as árvores analisadas crescem na Fazenda do Sr. Antônio

Gonzaga. Os solos são caracterizados como Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente, Eutrófico, Podzólico Vermelho Amarelo; Litólicos Eutróficos; Regosol Eutrófico e Solos Aluviais (Sergipe, 2011).

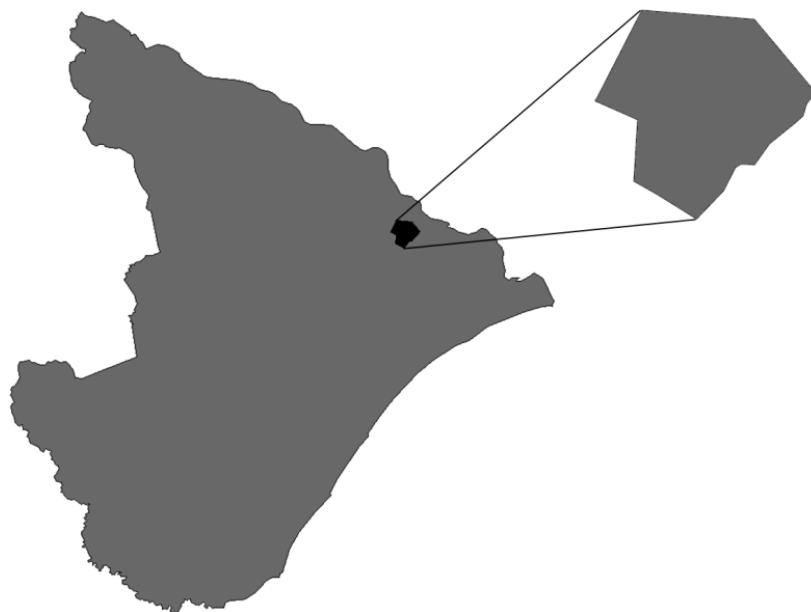


Figura 2 - Disposição do Município de Cedro de São João em Sergipe, em região de clima Megatérmico com inverno chuvoso, e vegetação de Mata Atlântica

4.1.2 Poço Verde

Município localizado no Centro-Sul do Estado de Sergipe (Figura 3) encontra-se na porção ocidental do Estado, afastado do litoral, e apresenta uma superfície de 380,7 Km² (10°42'11"S e 38°11'06"W). Limita-se ao Norte com a Bahia, fazendo fronteira com os municípios baianos de Paripiranga e Adustina; ao Oeste com Fátima, Heliópolis e Ribeira do Amparo; a Leste com o município sergipano de Simão Dias e ao Sul com Tobias Barreto. A sede municipal possui altitude de 273 metros.

A porção Leste do município possui relevo ligeiramente montanhoso, representado pelas Serras da Caraíba, Poço Dantas e São José. Ainda nesta região do Estado localiza-se seu ponto culminante, a Serra Negra, com 750m de altitude, que junto às anteriores caracterizam o pediplano sergipano. O município situa-se na

Mesorregião Geográfica do Sertão Sergipano, e na Microrregião de Tobias Barreto, junto à Simão Dias.

O clima predominante, segundo a classificação indicimétrica de Köppen é do Tipo As' (Tropical Megatérmico de outono e inverno chuvosos), com transição para BSh (Quente Semiárido). Possui precipitação média anual de 760 mm, e período úmido entre os meses de Abril e Julho. A temperatura média do mês mais quente é de 26,1 °C, em Janeiro, e do mês mais frio é de 21,4 °C, em Julho. A temperatura média anual é de 24,3 °C (IBGE, 2001).

O remanescente de Caatinga estudado encontra-se inserido na zona rural do município, em uma das Reservas Legais da Fazenda Santa Maria da Lage, desapropriada em 1996 pelo INCRA para fins de reforma agrária. A Fazenda conta com duas áreas de Reserva Legais, que totalizam 71,42 ha. Sua vegetação caracteriza-se por ser seca e densa, e atualmente encontra-se em processo de regeneração natural, após ter sofrido extração vegetal de médio impacto no passado.

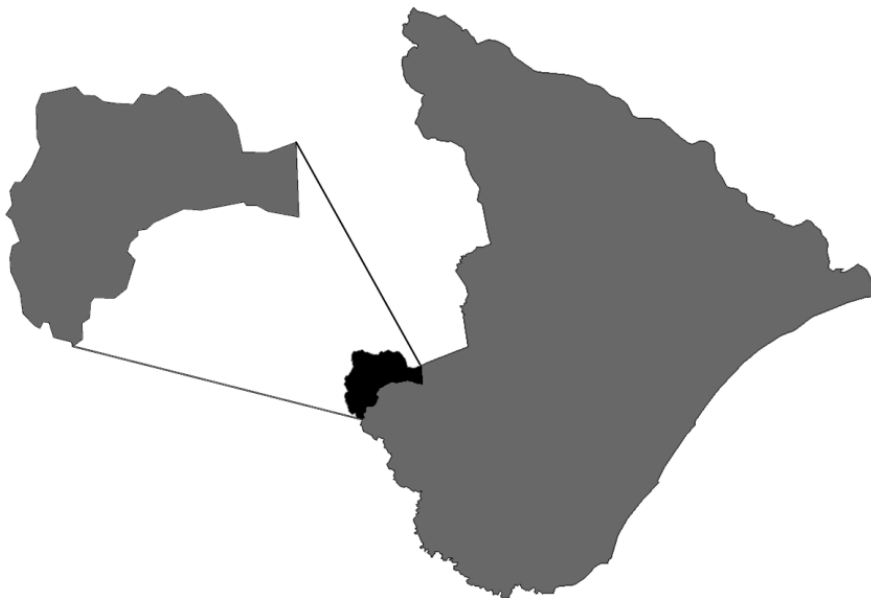


Figura 3 - Disposição do município de Poço Verde em Sergipe, em região de clima Tropical megatérmico com Outono e Inverno chuvosos, e vegetação de Caatinga

4.1.3 Porto da Folha

Município localizado no extremo Norte do Estado de Sergipe (Figura 4), faz fronteira ao Estado de Alagoas, ao Norte, e limita-se à Leste com o município de Gararu, à Oeste com Poço Redondo e ao Sul com Nossa Senhora da Glória e Monte Alegre de Sergipe (SERGIPE, 2011). Encontra-se a 112 Km da capital, com altitude média do sítio de estudos em torno dos 168 m (a.n.m.) (37°27'W e 9°91'S). Está inserido na Mesorregião do Sertão Sergipano, Microrregião Sergipana do Sertão do São Francisco, e todos os seus 877 Km² de área estão incluídos na região de ocorrência do Bioma Caatinga. Porto da Folha pertence à Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Sub-bacia Hidrográfica do Rio Capivara.

O clima é o mais seco dentre as localidades estudadas, e segundo a classificação climática de Köppen, enquadra-se como Quente Semiárido, com variedade BSh, caracterizado por possuir altas taxas de evapotranspiração potencial, geradas pela irregularidade de distribuição das chuvas, e pelo sistema de circulação atmosférica. A estação chuvosa, no verão, abrange o trimestre de Maio-Junho-Julho, que juntos concentram mais de 45% de toda a chuva anual. A precipitação média anual é de 543,7 mm. A temperatura média do mês mais quente é de 28,5 °C, em Janeiro, e do mês mais frio é de 23,2 °C, em Julho. A temperatura média anual é de 26,3 °C (IBGE, 2001).

O relevo dissecado em colinas e cristas com interflúvios tabulares caracterizam as unidades geomorfológicas de superfície pediplanada e do pediplano sertanejo. Os solos são classificados como Neossolos Litólicos Eutróficos, Planossolos, Regosol Distróficos e Argissolo Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (SERGIPE 2011), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA 2006).

Segundo o sistema de classificação de Veloso et al. (1991), os climas semiáridos a áridos que caracterizam esta região, apresentam flora endêmica, com plantas espinhosas e decíduais, podendo ser qualificada como Savana-estépica devido a semelhança florística com áreas estépicas dos climas temperados pré-andinos da Argentina e Bolívia.

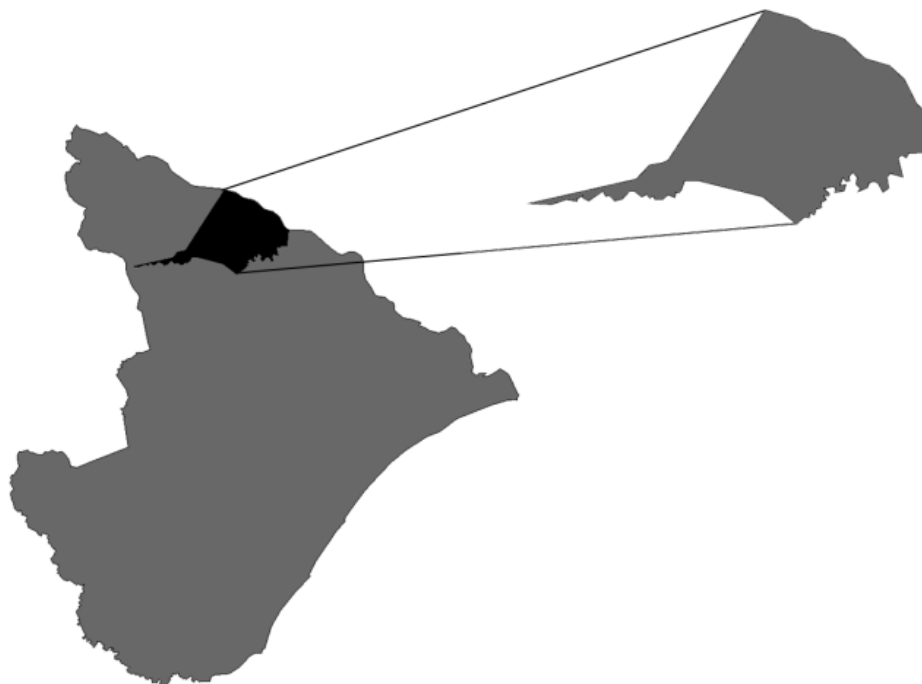


Figura 4 - Disposição do Município de Porto da Folha em Sergipe, em região de clima Megatérmico com inverno chuvoso, e vegetação de transição Caatinga

4.2 Registro climático das estações meteorológicas das áreas de estudo

As variáveis climáticas utilizadas nas correlações com as espessuras dos anéis de crescimento foram: (i) precipitação local; (ii) temperatura do ar; (iii) temperatura da superfície do Oceano Atlântico Sul; (iv) temperatura da superfície do Oceano Atlântico Norte.

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa foram coletados por estações meteorológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), de Sergipe, localizadas preferencialmente no mesmo município das árvores coletadas, ou vizinhos à estes, quando a disponibilidade de estações no município de interesse demonstrava-se limitada (Tabela 1).

Vastos períodos de ausência de informações quanto às variações térmicas são característicos das estações meteorológicas do Estado de Sergipe. Deste modo, a série histórica de dados de temperatura foi obtida a partir do espaço eletrônico do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), a partir do Climatic

Prediction Center (CPCNOAA). Dados da variação térmica da superfície do Oceano Atlântico foram obtidos para as regiões próximas ao litoral do Estado de Sergipe, assim como índices da temperatura da superfície do Oceano Atlântico Sul, e índices da Oscilação Sul do El Niño (ENSO).

Os dados supracitados foram utilizados para testar as correlações entre as cronologias de anéis de crescimento do lenho das árvores de *Cedrela odorata* de diferentes regiões do Sergipe, e as variáveis de precipitação e temperatura.

Tabela 1 – Séries meteorológicas utilizadas para dendroclimatologia

	Cedro de São João	Poço Verde	Porto da Folha
Agência	CMRHSE	CMRHSE/INMET	CMRHSE/INMET
Parâmetro	Prec/Temp	Prec/Temp	Prec/Temp
Município	Aquidabã	Poço Verde	Porto da Folha
Coordenadas Geográficas	37°03'W 10°26'S	38°20'W 10°71'	37°26'W 9°91'S
Altitude da Estação (m)	217	300	45
Período de Registro Utilizado	1927/2008	1937/2011	1914/2009

4.3 Coleta de amostras do lenho das árvores de *Cedrela odorata*: anatomia, dendrocronologia, e análise de isótopos estáveis de ¹³C.

Do lenho do tronco das árvores de *Cedrela odorata* que ocorrem nos três sítios, foram prospectadas amostras radiais do lenho, à altura do DAP (1,30 m do solo), através de método não destrutivo, que possibilitou a ininterruptão da vida das plantas e sua boa condição sanitária para a cicatrização dos tecidos. Para tal finalidade, utilizou-se Trados de Incremento das marcas Suunto e Haglöf, com diâmetro interno de 5,15mm (Figura 5).

Para a descrição das características anatômicas e estruturais macro e microscópicas da madeira e dos anéis de crescimento, uma amostra do lenho foi retirada com o auxílio de um extrator motorizado acoplado a sonda metálica com diâmetro de 12 mm.

Para obtenção das amostras destinadas às análises dendrocronológicas, 60 árvores foram selecionadas e amostradas, sendo retirados no mínimo dois, e no máximo quatro raios de cada indivíduo. A seleção das árvores para as análises dendrocronológicas levou em conta a (i) localização dos indivíduos (distantes de

fontes de água, por exemplo); (ii) sua estética, sendo eleitos espécimes sem irregularidades externas perceptíveis, como inclinação, tortuosidade do tronco, ou ferimentos; (iii) idade estimada dos indivíduos, visando a coleta de indivíduos de diferentes faixas etárias.

Para a análise de isótopo estável de $\delta^{13}\text{C}$ foram selecionadas árvores de grande porte, visando a obtenção de resultados que ilustrassem a assinatura isotópica contida no lenho de uma longa série de anos. Adicionalmente, os indivíduos selecionados passaram pelos mesmos critérios de exclusão utilizados àqueles coletados com finalidade de construção das cronologias e análises de densidade.

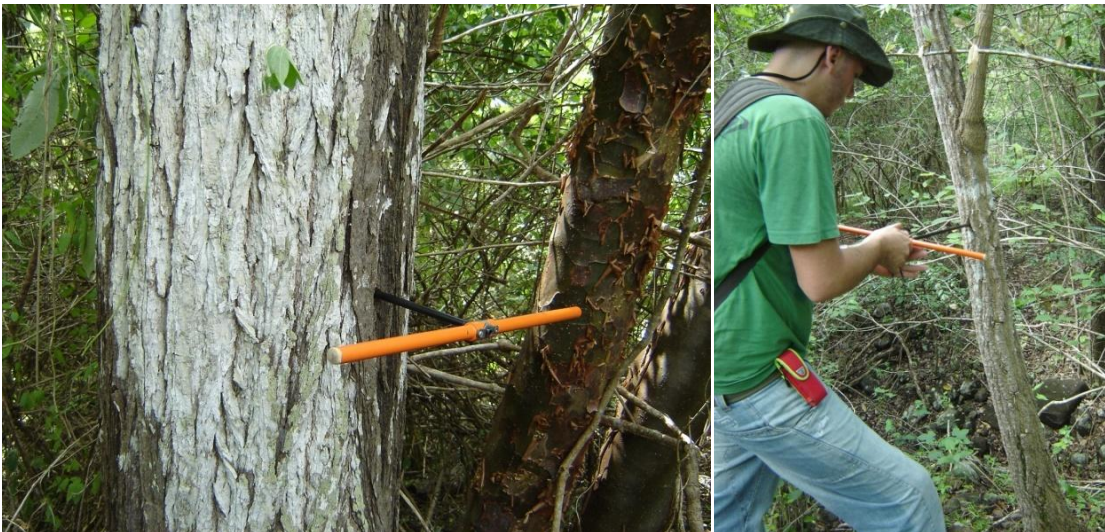


Figura 5 - Coleta por método não destrutivo de amostras da seção radial das árvores de *Cedrela odorata* de diferentes DAPs

4.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de *Cedrela odorata*

As amostras previamente preparadas foram analisadas através dos seguintes procedimentos dendrocronológicos (i) caracterização anatômica dos anéis de crescimento; (ii) mensuração das larguras dos anéis de crescimento; (iii) sincronização anual; (iv) construção de cronologias; (v) análise densitométrica (vi) análise isotópica.

4.4.1 Caracterização anatômica da estrutura dos anéis de crescimento e do lenho das árvores de *Cedrela odorata*.

4.4.1.1 Caracterização dos anéis de crescimento

A amostra radial do lenho da árvore de *Cedrela odorata* coletada com o auxílio de um trado motorizado foi utilizada para a caracterização dos anéis de crescimento.

A amostra teve sua seção transversal desbastada em um micrótomo para possibilitar o contraste dos elementos anatômicos. Seus anéis de crescimento foram analisados e fotografados com o auxílio de um microscópio estereoscópico (40 X) acoplado a uma câmera fotográfica digital. Para esta tarefa, foram utilizadas as “Normas e Procedimentos Aplicados na Anatomia da Madeira” do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA (1991) e da “List of Microscopic Features for Hardwood Identification” da “International Association of Wood Anatomists” - IAWA (2004).

4.4.1.2 Caracterização anatômica macroscópica

Foram obtidas sub-amostras radiais do lenho a partir da amostra de 12 mm de diâmetro coletada com trado motorizado, e fixadas em suportes de madeira em disposição orientada. Foram então imersos em água, fixados em micrótomo de deslize e desbastados em sua superfície transversal. Em seguida, foram observadas em microscópio estereoscópico ZEISS Stemi SV11 e as imagens obtidas por meio de uma câmera digital acoplada ao mesmo, foram utilizadas para a descrição da estrutura macroscópica do lenho, segundo as Normas do IBAMA (1991) e da IAWA (2004).

4.4.1.3 Caracterização anatômica microscópica

Sub-amostras radiais do lenho foram obtidas a partir da mesma amostra utilizada para a caracterização anatômica macroscópica, e então imersos em água a

temperatura ambiente para saturação, e em uma solução de água e glicerina em ebulição, para seu amolecimento. Em seguida, amostras de 15-20 μm de espessura foram obtidas a partir de micrótomo de deslize, considerando os planos anatômicos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, e então clarificados (hipoclorito de sódio, 20%), lavados (ácido acético 1%), desidratados (série alcoólica, 20-100%), lavados novamente (acetato de N-Butila), corados (Safranina) e montados em lâminas histológicas de vidro (Enthelan) (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). As lâminas histológicas preparadas, contendo seções do lenho foram examinadas em microscópio de luz ZEISS Axioskop, e tiveram suas imagens capturadas por uma câmera digital acoplada ao mesmo.

As análises anatômicas serviram para descrever os anéis de crescimento, bem como os falsos anéis de crescimento a fim de facilitar o processo de sincronização das séries de medidas radiais destas estruturas.

4.4.2 Dendrocronologia

4.4.2.1 Preparo das amostras do lenho para dendrocronologia

Em seu total, 60 árvores da espécie *Cedrela odorata* tiveram amostras de lenho coletadas nos três sítios selecionados no Estado de Sergipe (22 árvores em Cedro de São João; 23 árvores em Poço Verde; 15 árvores em Porto da Folha). Destas, 45 árvores foram selecionadas para análises dendrocronológicas, com 2 a 4 amostras do lenho/árvores.

Inicialmente, estas amostras foram retiradas o mais rápido possível dos recipientes plásticos onde se encontravam armazenadas desde as coletas nos campos, a fim de evitar o desenvolvimento de fungos, e então fixadas em suportes de madeira para secarem a temperatura ambiente. A fim de evitar o envergamento das amostras causado pela retração volumétrica da madeira durante este processo, as amostras foram atidas ao suporte. Quando secas, foram fixadas nos suportes de madeira utilizando cola branca de EVA, considerando o correto posicionamento das células em sentido vertical. Para evidenciar os limites dos anéis de crescimento, as amostras foram submetidas a um processo de polimento em seção de sua superfície

transversal, realizado com uma lixadeira orbital da marca Raimann, e uma sequencia granulométrica crescente de papel abrasivo (80 - 600 grãos/polegada²).

As amostras foram preparadas em dois laboratórios distintos, parcial ou integralmente. Houveram amostras preparadas até a etapa de polimento no Laboratório de Botânica: Anatomia Vegetal e Dendroecologia, do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe, assim como amostras que foram somente atidas aos suportes de madeira para secagem, e tiveram sua preparação finalizada no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raio X em Madeira, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade de São Paulo, na Escola Superior da Agricultura “Luiz de Queiroz”.

4.4.2.2 Mensuração, sincronização e obtenção das séries de anéis de crescimento

Após seu polimento, a seção transversal das amostras do lenho das árvores dos três sítios foram examinadas sob um microscópio estereoscópico Leica, modelo KL, com sistema de iluminação de fibra ótica, para a demarcação dos limites dos anéis de crescimento. A seguir, as amostras do lenho foram digitalizadas com resolução de 1200 dpi, em um aparelho scanner de precisão da fabricante Epson, modelo Perfection V700. A mensuração da largura dos anéis de crescimento foi realizada com precisão de 0,001 mm através do software de análise de imagens Image Pro Plus, versão 4.5.0.29, previamente calibrado através de escala digitalizada. Os dados de largura dos anéis de crescimento gerados neste software foram exportados para o Microsoft Office Excel e, posteriormente, organizados e analisados com a utilização dos softwares descritos a seguir.

Para a sincronização das séries radiais, o programa estatístico denominado COFECHA foi utilizado (HOLMES, 1983). Este programa proporcionou o controle de qualidade das medidas originais de larguras radiais dos anéis de crescimento à medida que as transformou em índices dimensionais a fim de eliminar a tendência biológica de crescimento das árvores, e possibilitando a comparação das séries de incremento entre os indivíduos de cada população. Através de procedimentos estatísticos que analisam a correlação entre segmentos das séries cronológicas, a

identificação de falsos anéis, ou de anéis ausentes pôde ser efetivada, e a sincronização das séries de crescimento concluída para as três áreas de estudo, inicialmente com a datação cruzada das séries de um mesmo indivíduo, e em seguida entre indivíduos (FRITTS, 1976; GRISSINO-MAYER, 2001; SCHWEINGRUBER, 1988). A padronização das medidas originais em índices permitiu que as séries de medidas das árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, pudessem ser agrupadas, em uma função média e do desvio padrão, corrigindo a heterogeneidade da variância dos dados de largura dos anéis de crescimento originais.

Após a sincronização das amostras dos 3 sítios, e sua correta datação, estas foram analisadas com o programa ARSTAN (HOLMES, 1994), que construiu as cronologias das populações das árvores. Este programa apresenta um pacote estatístico que possibilita determinar a melhor função para cada série de medidas dos anéis de crescimento, como regressão linear, funções exponenciais negativas, dentre outras, a fim de eliminar as tendências de crescimento da madeira juvenil por exemplo, em uma planta, contrastada com um aumento de crescimento em outra árvore, ocasionada por exemplo, por uma abertura de copa (formação de clareira).

4.4.3 Dendroclimatologia

As cronologias obtidas através do programa ARSTAN para os 3 sítios estudados foram comparadas com as variáveis climáticas mensais, quanto aos fatores de temperatura e precipitação dos locais de estudo, de índices de temperatura da superfície do Oceano Atlântico do litoral de Sergipe e do Atlântico Sul, bem como dos índices de oscilação de El Niño, através da aplicação de correlações de Pearson, que indicou qual fator influenciou mais significativamente a formação dos anéis de crescimento.

Estas análises foram realizadas com o uso do programa RESPO. As correlações de Pearson aplicadas com este softwear, também foram realizadas utilizando uma planilha analítica montada no programa Excel, com a vantagem dos resultados poderem ser estendidos a 24 meses (ano corrente a formação dos anéis de crescimento e ano anterior), de acordo com procedimento assessorado pelo Dr.

Fidel Alejandro Roig, do Laboratório de Anéis de Crescimento do IANIGLA/CONICET, Mendoza, Argentina.

4.5 A densitometria de raios X na análise do lenho e dos anéis de crescimento de *Cedrela odorata*

4.5.1 Preparo das amostras do lenho para densitometria de raios X

Posteriormente à sincronização das séries de medidas dos anéis de crescimento das árvores de Porto da Folha, incluídas na respectiva cronologia, foram separadas amostras não polidas de 5 árvores de *Cedrela odorata*, que apresentaram correlações muito significativas na cronologia para a aplicação na densitometria de raios X, a fim de caracterizar a madeira e os anéis de crescimento por esta técnica.

Para o preparo das amostras radiais do lenho extraídas por método não destrutivo do DAP tronco, após preparo prévio, foram coladas em suporte de madeira e seccionadas em equipamento de dupla serra circular paralela no sentido transversal (2,0 mm de espessura). Em seguida, foram acondicionadas em câmara de climatização (12 h, 20°C, 50% UR) até atingir 12% de umidade.

O perfil da densidade aparente do lenho foi obtido no equipamento da marca Quintek Measurement Systems, modelo QTRX-01X. As amostras do lenho foram ajustadas ao suporte metálico do equipamento e inseridas em um compartimento interno blindado. Em seguida, foi realizada a calibração do equipamento e a varredura radial contínua da superfície transversal da amostra por um feixe de raios X colimado. Os valores de raios X que cruzaram a amostra do lenho foram transformados em densidade aparente através do software QMS. Os valores pontuais (40 µm) de densidade aparente radial do lenho puderam ser observados no monitor, simultaneamente à exibição da imagem da seção transversal da amostra do lenho (QMS, 1999).

4.5.2 Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho

Os valores radiais de massa específica aparente dos lenhos obtidos pelo software QMS originaram um arquivo DAT (relatório de análise com os valores pontuais de massa específica aparente do lenho a cada 40 μm) e outro QTR. O arquivo DAT pôde ser transferido para o software Microsoft Excel, e assim os perfis radiais de massa específica aparente do lenho das árvores puderam ser confeccionados (QMS, 1999).

4.5.3 Parâmetros de densidade aparente do lenho

A partir dos perfis radiais de massa específica aparente do lenho, os valores médios, máximos e mínimos foram determinados, assim como os limites dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *Cedrela odorata*.

4.5.4 Análise estatística dos resultados da densitometria de raios X

Para a análise estatística da variável densidade aparente do lenho das árvores de *Cedrela odorata*, foi utilizado o programa SPSS (“software package social science”). O teste de Scott-Knott (95% de probabilidade) foi utilizado, com o objetivo de separar os grupos de médias sem ambiguidade. Posteriormente, aplicou-se a Correlação de Pearson e a Regressão Múltipla (stepwise) para as variáveis de densidade, seguidas por um teste ANOVA.

4.6 Análises isotópicas dos anéis de crescimento de *Cedrela odorata*

4.6.1 Preparo das amostras do lenho para análises isotópicas

A área de Porto da Folha foi selecionada para esta coleta adicional de material para análises isotópicas, em função dos altos valores de correlação de Pearson apresentada pela sua cronologia e com o clima. Como as análises isotópicas visaram fornecer respostas com resolução anual, estas amostras também

foram sincronizadas e inseridas na série cronológica previamente obtida para área de estudo de onde provinham.

As amostras de lenho das árvores de *Cedrela odorata* utilizadas para as análises de componentes isotópicos foram obtidas a partir de método não destrutivo, com trado de incremento. Foram secas a temperatura ambiente, mas não foram coladas em suportes para evitar qualquer contaminação por qualquer tipo de componente químico que pudesse influenciar os resultados das análises isotópicas. Este raciocínio foi seguido também na etapa de desbaste da secção transversal das amostras, sendo utilizada uma lâmina de bisturi esterilizada. Assim, 3 árvores foram elegidas, e amostras pulverizadas do raio de seu lenho foram obtidas com o auxílio de uma broca de aço rápido com 1 mm de diâmetro acoplada à um Sistema Flex-shaft attachment 225, de uma micro retífica DREMEL[®], modelo 300-N125. Os anéis de crescimento foram amostrados individualmente, alcançando a quantidade necessária de massa (em miligramas) para cada análise isotópica de cada anel de crescimento. Optou-se pela análise de amostras compostas das três árvores, assim o material advindo de cada uma foi integralizado ao material referente ao mesmo ano do calendário das demais árvores. A broca utilizada no processo de obtenção de material para estas análises foi sucessivamente esterilizada para evitar a contaminação com material proveniente de anéis de crescimento adjacentes. Uma quantidade de Acetona PA e uma escova com cerdas de nylon foram utilizadas para este fim.

A velocidade e pressão infringidas pela broca sobre a amostra foram cuidadosamente controladas, e ajustadas a partir de pré-testes, objetivando uma retirada de material sem carbonização do lenho por conta do atrito (MCCARROLL e LOADER, 2004). Um esforço foi realizado na tentativa de obtenção de amostras livres da presença de parênquima axial marginal, assim sob a suspeita de contaminação por este material, a amostra em questão foi descartada e não integralizada na amostra composta dos anéis de crescimento. Um mínimo de 11 mg, e máximo de 242 mg de material pode ser retirado de cada anel de crescimento individual, perfazendo uma média de 97,2 mg/anel de crescimento.

4.6.2 Parâmetros de análises de isótopos estáveis

As amostras pulverizadas dos anéis de crescimento individualizados foram encaminhadas ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo - CENA/USP, onde foram analisadas no equipamento ANCA - MS 20-20 (Automated Nitrogen and Carbon Analyser – Mass Spectrometer) da EUROPA SCIENTIFIC, conectado a um analisador elementar (NA 1500, Carlo Erba, Itália)

Este equipamento realizou a medida de razão isotópica dos anéis de crescimento por espectrometria de massas, e os valores resultantes foram expressos em $\delta\text{‰}^{13}\text{C}$, representando a proporção da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de uma amostra em relação ao padrão PDB.

Amostras orgânicas com 20-200 μg de C, finamente moídas foram seladas em cápsulas miniaturas de estanho (Sn), sendo admitidas no auto-amostrador do equipamento ANCA com lugar para 66 amostras. As amostras foram purgadas do ar com um fluxo de He ultrapuro no auto-amostrador. Em sequência, as amostras foram levadas para o interior de tubo de combustão vertical quando um pulso de O_2 ultra puro substituiu temporariamente o fluxo de He. O tubo de combustão foi preenchido com um catalisador o Cr_2O_3 (óxido de cromo) e CuO (óxido de cobre) em fios cortados em pequenos pedaços, oxidando os hidrocarbonos, e lã de prata (Ag) que reteve o Enxofre (SO_2) e halogêneos. Quando o pulso de O_2 chegou ao forno de combustão juntamente com a amostra selada na cápsula de Sn, a temperatura no local inicialmente em 1000°C , aumentou para 1700°C ocasionando completa combustão da amostra. Os produtos da combustão: CO_2 , N_2 , NO_x e H_2O foram levados para um tubo de redução mantido a 600°C contendo cobre metálico (Cu). No tubo de redução os óxidos de nitrogênio foram reduzidos à N_2 , sendo também retido o excesso de O_2 . A seguir, os gases foram conduzidos pelo gás carregador para uma coluna preenchida com perclorato de magnésio [$\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$] que reteve o vapor de água. Por último uma coluna cromatográfica separou o CO_2 de impurezas.

Uma pequena fração do efluente (0,1%) do sistema de preparação da amostra entrou no IRMS através de um longo tubo capilar com um constritor para ajuste do fluxo de gás na entrada do IRMS. O gás entrando na fonte foi analisado

para C-total e razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, por meio das intensidades das massas 44 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$), 45 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$, $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{17}\text{O}$) e 46 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$; $^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{17}\text{O}$ e $^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{17}\text{O}$).

4.6.3 Análise dos dados

Os dados foram inicialmente plotados em gráficos de $\delta^{13}\text{C}$ por ano e as tendências de baixa frequência foram analisadas visualmente e por meio de regressões lineares.

Outra análise realizada a partir dos dados de $\delta^{13}\text{C}$ foi a eficiência intrínseca do uso da água (W_i), que trata-se de uma medida da razão entre fotossíntese e evapotranspiração. Para isto, além dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos na planta, foi necessário obter os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $[\text{CO}_2]$ atmosféricos. Em um artigo clássico de revisão sobre isótopos estáveis em anéis de crescimento, McCarrow e Loader (2004) fornecem estes dados na forma de uma série histórica que abrange o período de 1850 a 2003. As amostras de lenho secundário de *Cedrela odorata* utilizadas neste estudo contam com anéis de crescimento do período entre 1951 e 2011, assim os dados de $\delta^{13}\text{C}$ e $[\text{CO}_2]$ atmosféricos dos anos de 2004 a 2011 foram extrapolados por meio de uma função de crescimento.

A partir destes dados, a Eficiência intrínseca do uso da água foi calculada a partir das seguintes fórmulas:

Cálculo da discriminação dos isótopos de carbono por árvores C3 ($\Delta^{13}\text{C}$) (FARQUHAR *et al.*, 1989):

$$\Delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = (\delta^{13}\text{Ca} - \delta^{13}\text{Cc}) / (1 + \delta^{13}\text{Cc}/1,000)$$

Onde $\delta^{13}\text{Ca}$ representa o $\delta^{13}\text{C}$ atmosférico e $\delta^{13}\text{Cc}$ representa o $\delta^{13}\text{C}$ celular, ou da amostra de lenho.

Cálculo da concentração intercelular de CO₂ no mesófilo foliar (c_i) (FENG, 1998):

$$c_i = c_a (\Delta^{13}\text{C} - a / b - a)$$

Onde “a” representa a discriminação do estômato na difusão do ¹³CO₂ e possui valor de -4.4‰, e “b” é a discriminação realizada pela enzima Rubisco, com valor aproximado de -27‰.

- Cálculo da eficiência intrínseca do uso da água (W_i) (FENG, 1999):

$$W_i = c_i - c_a / 1.6$$

Com os valores calculados foi possível analisar as tendências de Δ¹³C, c_i e W_i ao longo das últimas seis décadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sítios de estudo

5.1.1 Cedro de São João

Este município se encontra na mesorregião do Leste Sergipano e, seguindo seu posicionamento no Estado, sofre influência das atuantes climáticas características desta região. O Leste do Nordeste, uma faixa úmida litorânea que, além do Estado de Sergipe inclui Bahia, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, recebe uma carga de precipitação relativamente maior que o interior do Estado por conta do encontro entre as frentes frias que se aproximam vindas do Sudeste, paralelamente à Costa, e a brisa terrestre que se desloca no sentido Continente-Oceano (GALVÃO, 1999). Ainda segundo Galvão (1999), esta convergência entre massas de ar alcança seu pico durante o período Invernal, e as chuvas deste período - de Abril a Julho - são responsáveis por 60% da precipitação média anual, enquanto as do período Veranil - de Setembro a Dezembro - correspondem a apenas 10% do total para esta região. Esta informação corrobora (destacando uma pequena margem de divergência) os resultados obtidos para a série de dados pluviométricos utilizados neste estudo, que possui extensão de 97 anos, alusiva ao intervalo entre os anos de 1912 e 2009 para o município de Cedro de São João, que apresenta valores de 63% para os meses de Inverno, e 17% para os meses de Verão (Figura 6).

Outra característica da região, recai sobre a presença de uma formação orográfica peculiar à todo o Leste costeiro do Brasil, a Serra do Mar, que estende-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. A presença deste tipo de relevo proporciona a captura da umidade proveniente do Oceano, retirando a maior parte da umidade transportada pelo Sistema Atlântico-Equatorial. O município de Cedro de São João abriga o único sítio de estudo deste trabalho não inserido na área do Bioma Caatinga. Esta região perfaz um ecótono Agreste/Mata Atlântica, com pouca ou nenhuma representação de espécies de Caatinga (Figura 7). A Mata Atlântica predomina nesta região, trazendo consigo a alta diversidade de espécies, resultado da maior disponibilidade hídrica proporcionada pelos maiores totais de precipitação.

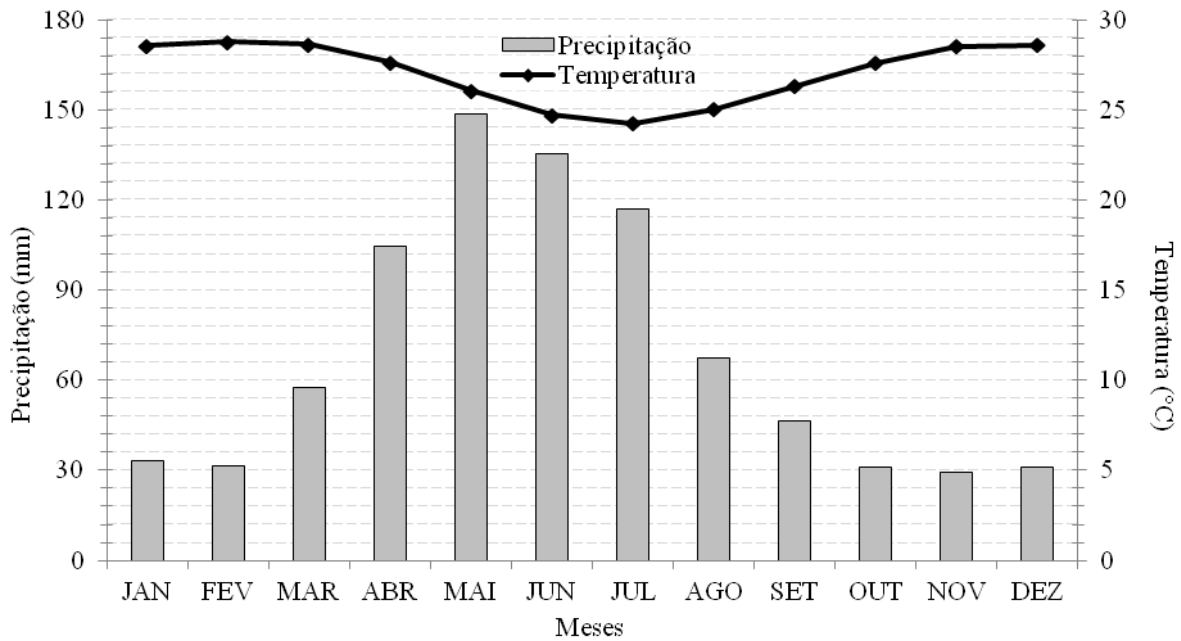


Figura 6 - Diagrama ombrotérmico para o município de Cedro de São João, evidenciando a sincronização da estação chuvosa com os meses de Inverno



Figura 7 - Aspecto do remanescente florestal em Cedro de São João, em área de Mata Atlântica, durante estação úmida

5.1.2 Poço Verde

O município de Poço Verde encontra-se em uma região de transição entre tipos climáticos e experimenta predominantemente a influência de um clima Tropical Megatérmico, de variedade As', segundo a classificação de Köppen. Como informa a sigla "s" desta classificação, que remete ao termo em inglês "Summer", o clima desta

região é caracterizado por apresentar uma estação de Verão com baixos índices pluviométricos. Quanto ao símbolo “ ’ ”, este indica que a estação chuvosa tem seu início no Outono e estende-se ao Inverno. No entanto, esta região apresenta também características de Clima Semiárido, representado pela variedade BSh da classificação citada, principalmente por conta de seus baixos totais volumétricos de precipitação, e os importantes desvios totais intra e interanuais dos mesmos, sendo os primeiros ilustrados no Diagrama Ombrotérmico para o município de Poço Verde (Figura 8).

A vegetação, seguindo a condição climática em vigor, retrata um ecótono Agreste/Semiárido, na forma de uma fisionomia florestal densa denominada Caatinga Hipoxerófila, que apresenta sub-bosque fechado e solo coberto por vegetais da família Bromeliaceae, na forma dos gêneros *Aechmea* e *Bromelia*, que durante os episódios de coleta de material para este estudo mostraram dificultar o deslocamento na mata por conta de sua abundância, tamanho e acúleos (Figura 9A).

Muitas árvores de *C. odorata* presentes neste fragmento foram visivelmente exploradas no passado e seus fustes, advindos de processos de rebrota, carregam cicatrizes visíveis em sua porção basal (Figura 9B). Hoje o fragmento se encontra em processo de regeneração natural, e algumas constatações, como o predomínio da síndrome de dispersão autocórica na comunidade, característica de plantas pioneiras, e o relativamente alto índice de diversidade para a região, corroboram esta informação (FERREIRA, 2011).

A matriz desta área de estudo é predominantemente agrícola (Figura 9C), e os escassos fragmentos florestais presentes no entorno são modestos quanto ao seu tamanho, e não contam com a presença de qualquer tipo de corredor ecológico (Figura 9D). Assim, os processos de fluxo gênico entre remanescentes, e as relações bióticas/genéticas inerentes a este estudado, provavelmente encontram-se alterados ou diminuídos, como efeito da perda de variação genética provocada pela diminuição do número de indivíduos, resultado da fragmentação florestal (KAGEYAMA et al., 1998).

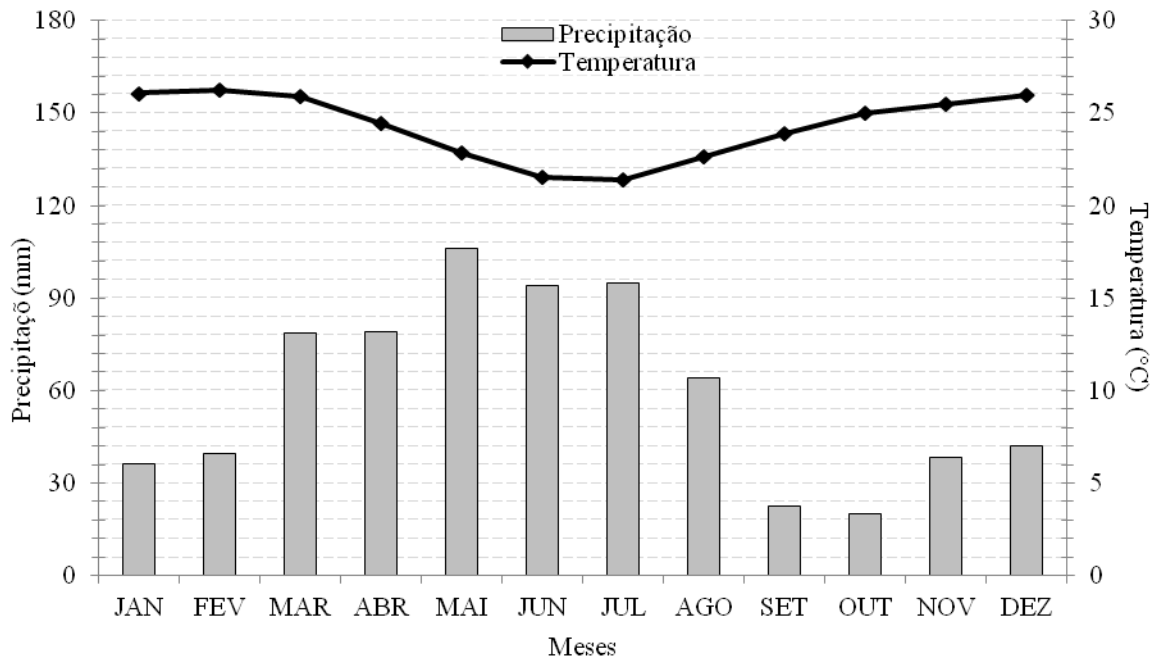


Figura 8 - Diagrama ombrotérmico para o município de Poço Verde, exibindo a sincronização entre a estação úmida e as estações de Outono e Inverno



Figura 9 - Aspecto do interior do remanescente florestal em Poço Verde, com uma Bromeliaceae em destaque (A), e presença de árvores de *Cedrela odorata* apresentando processo de rebrota após corte raso. Aspecto da borda do remanescente florestal e matriz agrícola ao nível do solo (C) e por meio de imagem de Satélite - em destaque o remanescente estudado (D)

Segundo Ferreira (2011), que identificou 176 espécies vegetais no mesmo fragmento florestal utilizado neste estudo, a família Fabaceae foi a que apresentou a maior riqueza de espécies, assim como em outros estudos realizados para os ambientes de Caatinga do Estado de Sergipe e fora dele (SANTANA, 2005). E ainda, este remanescente apresenta uma composição florística díspar para o Estado de Sergipe, com uma maior riqueza de espécies, típica de Caatingas crescendo em regiões com maiores totais de precipitação. Esta riqueza de espécies decorre de uma série de fatores edafo/topográficos, mas o clima, especialmente na forma da quantidade de água precipitada, ainda é considerado o fator principal (RODAL *et al.*, 1992). Ainda quanto à composição florística, certas espécies encontradas são indicadoras de áreas conservadas, como *Myracrodruon urundeuva* Allemão e *Commiphora leptopholeos* (Mart.) J. B. Gillett, outras são endêmicas da Caatinga, como *Aspidosperma pyriforme* Mart. e *Maytenus rígida* Mart. (FERREIRA, 2011), e ainda, algumas apresentam potencial para estudos dendrocronológicos, como *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (NOGUEIRA-JUNIOR, 2011).

5.1.3 Porto da Folha

O regime climático desta região é caracterizado pelos baixos índices de precipitação durante vários meses consecutivos. Esta área de estudo apresenta uma concentração de 50 a 70% de chuva em quatro meses sucessivos, e a estação seca pode durar de sete a oito meses, evidenciando um forte clima sazonal (Figura 10).

No sertão, em geral o período de secas aumenta da periferia para o centro. Isto é resultado da sombra de chuva causada pela perda de umidade das massas de ar que têm origem pela ação do anticiclone do Atlântico Sul, na região litorânea do Nordeste, por conta da presença dos tabuleiros costeiros. A característica mais marcante do clima desta região relaciona-se ao sistema de chuvas anual, e o consequente total de precipitação extremamente irregular, com uma média de desvio anual entre 20 e 50% (PRADO, 2003). Ainda, segundo Nimer (1972), as regiões que apresentam os menores valores totais anuais de precipitação, costumam ser os setores com desvios mais elevados, com a maior parte das chuvas sendo concentrada no período de um trimestre, causando longos períodos de estiagem.

No município de Porto da Folha, os registros históricos de precipitação ilustram grandes desvios dos totais anuais de precipitação e, embora o município apresente uma média anual de precipitação na casa dos 540 mm, para o período de 1969 (1087 mm) a 1983 (222 mm), uma grande variação pode ser observada e, mesmo para o ano de 1970, consecutivo ao ano de maior precipitação apresentado anteriormente, os totais de precipitação não atingiram ao menos os 260 mm.

O remanescente florestal estudado neste município possui características que o definem como uma Caatinga Caducifólia Espinhosa (Caatinga *sensu stricto*), com plantas espinhosas e decíduais. Um estudo prévio, conduzido por Oliveira (2011), que realizou o levantamento florístico deste mesmo fragmento, apontou a presença de 69 Espécies, distribuídas em 24 Famílias botânicas, sendo que a riqueza de espécies encontrada condiz com os resultados de pesquisas realizadas em outros ambientes de Caatinga. Novamente, a família botânica que apresenta maior destaque quanto ao número de indivíduos é a Fabaceae (54,7%). Quanto à espécie *Cedrela odorata*, esta obteve destaque quanto à sua área basal, que por conta de seus altos valores influenciou os resultados de área basal total para o fragmento, e resultou no maior valor já encontrado para o Estado de Sergipe. Os grandes valores de DAP das árvores desta espécie - o maior com 45,45cm - a posicionaram também no primeiro lugar quanto à dominância para este fragmento, sendo que, para o presente estudo, indivíduos ainda maiores quanto ao DAP foram amostrados (53,3 cm). Sua frequência absoluta foi de 20 indivíduos, que gerou uma frequência relativa de 1,5% e uma densidade absoluta de 6 indivíduos/ha (OLIVEIRA, 2011).

Este remanescente florestal em particular, apresenta uma história díspar em relação aos outros dois já retratados. A família proprietária da fazenda onde se insere este fragmento o mantém livre de intervenções antrópicas intensas há mais de cinco décadas. Por este motivo, aliado a constatações como o registro superior da diversidade de espécies herbáceas, da altura das árvores deste fragmento em relação a outros estudos para as Caatingas do Nordeste brasileiro, e a presença de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, como *Myracrodruon urundeuva*, pode-se afirmar que o fragmento estudado encontra-se em bom estado de conservação (OLIVEIRA, 2011).

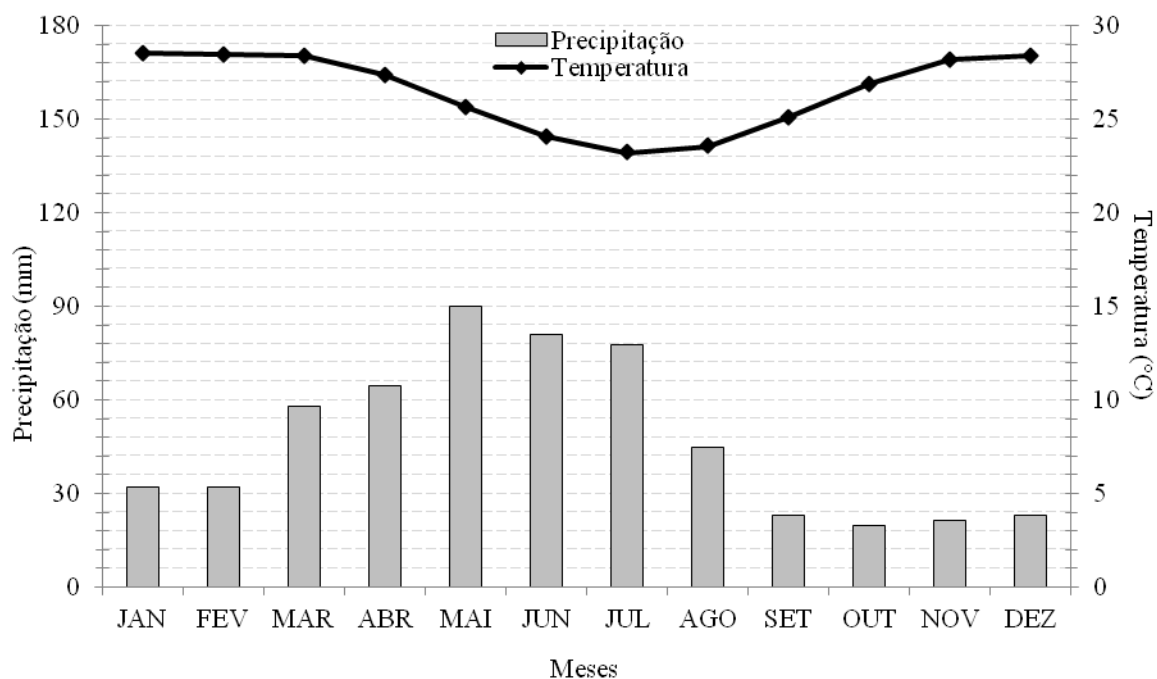


Figura 10 - Diagrama ombrotérmico para o município de Porto da Folha, exibindo a sincronização entre o Inverno e as altas taxas de precipitação

5.2 Fenologia, formação de anéis de crescimento e relação com o clima.

Neste estudo optou-se por não realizar o acompanhamento integral da fenologia das árvores de *Cedrela odorata*, com as tradicionais observações visuais periódicas das diferentes fenofases ao longo das estações anuais (BORCHERT, 1983) por conta da distância entre o Laboratório de Anéis de Crescimento, Anatomia e Densitometria de Raio X, em Piracicaba - SP, onde este trabalho foi majoritariamente conduzido, e os sítios de estudo no Estado de Sergipe. No entanto, durante os seis episódios de coleta das amostras de xilema secundário das árvores, realizados com a colaboração da equipe do Laboratório de Botânica: Anatomia Vegetal e Dendroecologia, da Universidade Federal de Sergipe, entre os anos de 2009 e 2011 nos diversos sítios de estudo, as fenofases de troca foliar, florescimento, frutificação e dispersão de sementes foram observadas e registradas por meio de notas e imagens fotográficas.

Como resultado da origem dos substratos da Caatinga pelos processos de pediplanação, seus solos costumam ser pedregosos e rasos, com pouca capacidade de estocar água (TRICART, 1961). Estas características proporcionam a formação

de anéis de crescimento anuais distintos por conta da baixa disponibilidade hídrica durante a estação seca, além de altas correlações entre fenologia, atividade cambial e as chuvas sazonais (BORCHERT, 1999).

Na oportunidade das coletas realizadas em área de Caatinga durante o período úmido do ano de 2011, no mês de Maio, as altas taxas pluviométricas e temperaturas amenas da estação, proporcionaram os maiores níveis de disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, a vegetação em geral apresentou um aspecto exuberante (Figura 11A). Ao nível de comunidade, as árvores apresentavam diferentes estágios fenológicos, com a presença simultânea de espécies ainda desprovidas de folhas, e espécies já em estágio de frutificação, como foi observado para plantas do gênero *Spondias*. Seguindo esta tendência, as árvores adultas de *Cedrela odorata* amostradas apresentaram folhagem abundante e madura (Figura 11C), além de grande quantidade de flores, evidenciando a presença da fenofase reprodutiva das mesmas (Figura 11E). Para Rocha (2004), que estudou ambientes de Caatinga em locais arenosos, as espécies mais abundantes podem não apresentar sincronização de suas fenofases, porém as árvores de *Cedrela* deste sítio seguem os resultados obtidos por Machado et al. (1997) para espécies arbóreas em uma região de Caatinga do estado de Pernambuco, que demonstram a antecedência da fenofase de brotamento em relação à estação chuvosa, impulsionada pelas chuvas esporádicas, e a floração de espécies no início da estação úmida. Borchert (1994) observou padrões diferentes para espécies de uma Floresta Tropical Seca da Costa Rica, onde as árvores floresciam durante a estação seca, porém segundo Rocha (2004), o padrão de florescimento observado para as árvores de *Cedrela* deste estudo, sincrônico à estação chuvosa, parece ocorrer nos ambientes mais secos entre as florestas estacionais, e podem exercer influência sobre a competição e manutenção dos polinizadores, já que estes padrões possuem relação direta com os processos reprodutivos e sistemas de polinização (NEWSTTON et al., 1994).

O período de ativação do câmbio vascular de árvores da família Meliaceae, como *Cedrela odorata* e *Swietenia macrophylla* é determinado pela disponibilidade de água e restringe-se aos meses úmidos, mesmo em ambientes tropicais que apresentam taxas de precipitação elevadas, como a Floresta Amazônica (DÜNISCH, 2003). Para a Caatinga, o mesmo parece ocorrer, e durante o mês de Maio, quando

uma fração das coletas foi realizada após o início da estação chuvosa, as árvores encontravam-se em pleno processo de crescimento e formação de lenho através das divisões celulares do câmbio vascular. Esta teoria pôde ser confirmada por meio da análise das amostras de lenho obtidas em um dos locais de coleta visitados nesta oportunidade, as quais apresentaram anéis de crescimento em início de formação, ainda com os primeiros vasos do Lenho Inicial sendo confeccionados, anexos à faixa de Parênquima Marginal (Figura 11F).

Várias espécies arbóreas apresentam crescimento contínuo nos trópicos, porém nas regiões que apresentam sazonalidade climática, durante o período seco e concomitantemente à abscisão foliar no caso da Caatinga, a atividade cambial diminui, ou cessa completamente, levando a árvore a um período de dormência cambial, e proporcionando a formação dos limites das zonas de incremento anuais (TOMAZELLO ET AL., 2000; BOTOSSO & TOMAZELLO, 2001; DÜNISCH et al., 2003; 2002). Durante as expedições de coleta realizadas no mês de Outubro de 2010, a vegetação do sítio de estudo em Porto da Folha apresentou um aspecto totalmente oposto ao dos meses anteriores (Figura 11B) e as árvores, fazendo jus à etimologia do local, mostravam-se totalmente brancas por conta dos galhos desprovidos de folhas.

Esta conspícua característica fenológica de grande parte das árvores deste Bioma é fruto de uma estratégia evolutiva, que como resposta adaptativa aos altos níveis de evapotranspiração, fruto dos baixos índices pluviométricos e altas temperaturas da estação, conduzem a abscisão foliar com o objetivo de reduzir a perda de água. A decíduidade foliar trata-se de uma das características mais marcantes da Caatinga, porém nem todas as espécies perdem suas folhas, e a porcentagem de espécies capazes de mantê-las durante a estação seca varia consideravelmente (ROCHA 2004). A precipitação exerce forte influência sobre os padrões de queda foliar nas regiões Semiáridas (BULLOCK & SOLIS-MAGALLANES 1990), porém outros fatores, como ritmos de regulação interna, permitem que algumas espécies, como *Aspidosperma pyrifolium* possuam a capacidade de reter suas folhas por longos períodos após o início da estação seca (MACHADO et al. 1997).

No caso da espécie *C. odorata* a situação de deficiência hídrica dos períodos de estiagem ocasiona a abscisão foliar das árvores e as conduzem a uma fase com reduzido, ou mesmo ausente, incremento em circunferência do tronco, e à formação dos limites dos anéis de crescimento em resposta ao longo período de dormência cambial (WORBES, 1995; BOTOSSO et al., 2000; TOMAZELLO FILHO, 2004) (Figura 11D). A queda foliar para árvores desta espécie durante a fase de estiagem pode ser observada em estudos conduzidos em outras florestas tropicais secas (REICH e BORCHERT, 1984), assim como em florestas com taxas de precipitação maiores e melhor distribuídas ao longo do ano (DUNISCH et al., 2003; BOTOSSO et al., 2000).

A frutificação da *C. odorata* foi registrada durante as expedições de coleta realizadas em Porto da Folha em outubro de 2010, período em que as árvores de cedro encontravam-se desprovidas de folhas (Figura 11D). A fenofase de frutificação de árvores de *C. fissilis* e *C. odorata* em Florestas Tropicais Úmidas mostra-se um evento complexo, estando diretamente relacionada a fatores climáticos como precipitação e temperatura. Neste ambiente, a fase de maturação dos frutos pode acontecer em um intervalo de 5 a 12 meses para árvores de *C. fissilis* e de 5 a 7 meses para árvores de *C. odorata* sendo que para as primeiras a frutificação ocorre a partir do segundo mês após o início da estação chuvosa, e possui fortes correlações positivas com a precipitação do mês corrente e ao anterior a ele (LOBÃO, 2011). Em Sergipe, a maturação dos frutos foi observada durante a estação seca, a partir de setembro-outubro. Estudos fenológicos na região de Caatinga indicam uma influência direta da precipitação sobre a produção e disseminação de diásporos (FERREIRA, 2011), e embora a fenofase de dispersão de sementes não tenha sido visualizada diretamente, frutos secos, caídos ao chão, ainda apresentando sementes presas a estes, foram encontrados nas coletas realizadas em março de 2010, na Reserva Florestal Mata do Junco, região de Agreste próxima ao local de estudo do município de Cedro de São João, que conta com a ocorrência de um número pequeno de indivíduos de *C. odorata*. Nesta ocasião também foram observadas plântulas nascidas logo após as primeiras chuvas de 2010.

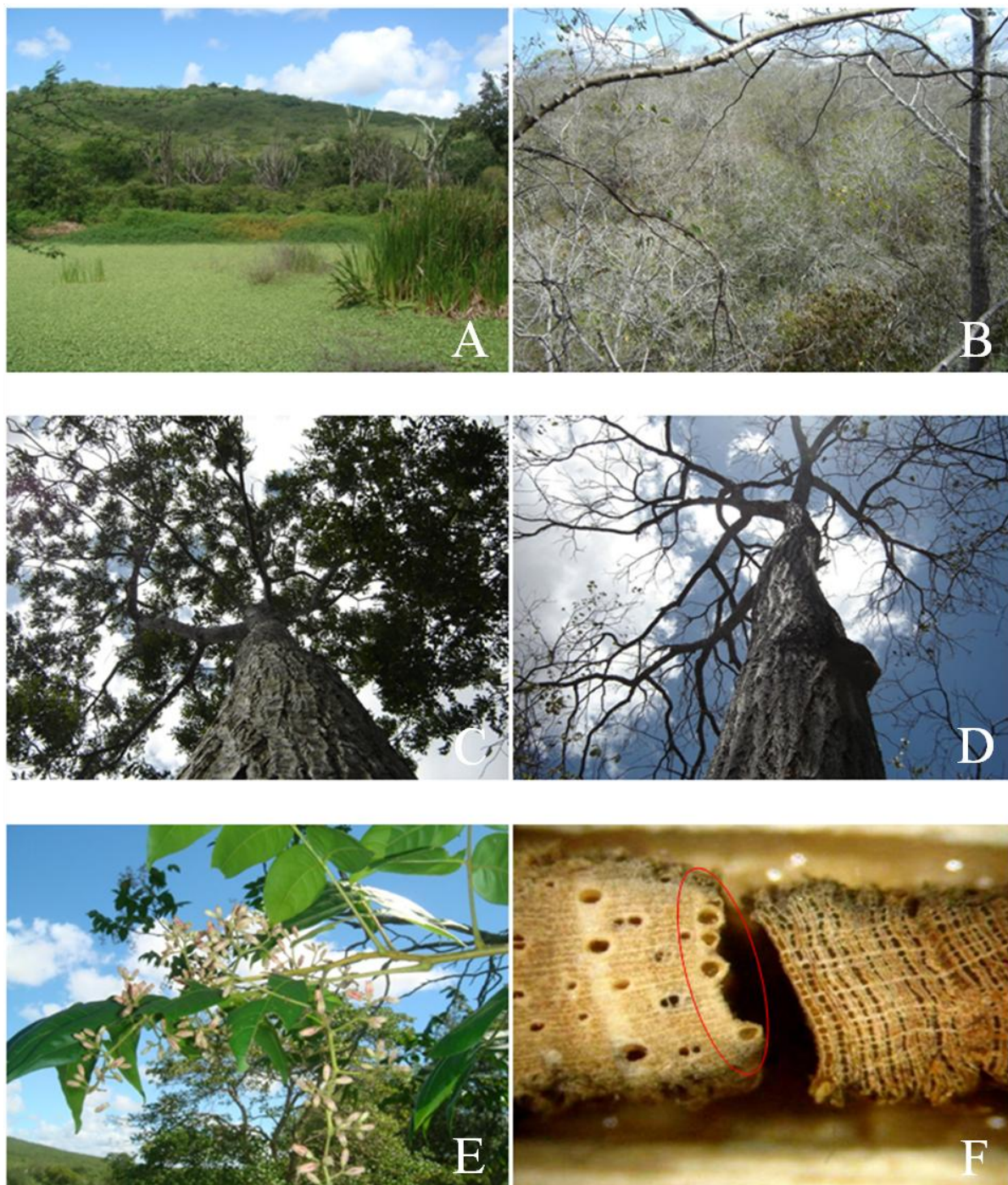


Figura 11 - Aspecto geral da vegetação de Mata Atlântica, em estação úmida (A) e de Caatinga, em estação de estiagem (B), e das diferentes fenofases das árvores de *Cedrela odorata* crescendo na Caatinga, durante as estações úmida (C) e seca (D). Flores das árvores de *C. odorata*, durante a fenofase de Floração (E), e o início da formação de anéis de crescimento no mês de Maio (F)

5.3 Caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *Cedrela odorata*

5.3.1 Características anatômicas

O lenho das árvores de *Cedrela odorata* das três áreas de estudo apresentou, com pequenas variações, as características atribuídas à espécie por diversos estudos (ROIG, 2000; TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2000, 2004). Na seção transversal do lenho pôde-se notar que o alburno e cerne apresentaram diferentes cores. Os anéis de crescimento, distintos e visíveis a olho nu, caracterizam-se pela disposição dos vasos de maior diâmetro associados ao parênquima axial marginal, na forma de anéis semi-porosos, com uma diferença marcante entre o diâmetro dos vasos do lenho inicial em relação aos do lenho tardio (Figura 12A,B).

Os anéis de crescimento das árvores de *C. odorata* puderam ser identificados e marcados a olho nu sem maiores dificuldades, e sua mensuração foi realizada a partir de imagens sem nenhum tipo de ampliação ou edição (Figura 12C). Esta facilidade na análise, aliada ao registro preciso do período de incremento relativo a cada estação de crescimento torna a espécie *C. odorata* passível de aplicação na dendrocronologia (DÜNISCH, 2002, 2003). No entanto, fatores diversos, como danos ocasionados ao tronco, incêndios florestais, anomalias climáticas, estresse hídrico e ataque de insetos levam a formação de falsos anéis de crescimento, que muitas vezes podem ter sido considerados, em um primeiro momento, verdadeiros, e só retirados da cronologia a partir das análises dendrocronológicas posteriores.

Os anéis falsos mostraram-se presentes em várias árvores, em todos os sítios de estudo, e sob diversas formas. Neste sentido, em trabalho conduzido por Lobão (2011) em diversos ambientes da Floresta tropical amazônica no estado do Acre, que contou com duas espécies do gênero *Cedrela*, diversos tipos de anéis, falsos e verdadeiros, foram caracterizados quanto a sua anatomia, sendo que alguns dos tipos de anéis descritos neste trabalho foram encontrados neste estudo, como por exemplo anéis de crescimento falsos, constituído por faixas muito delgadas de parênquima marginal, formando grupos de anéis quase indistintos (Figura 12D).

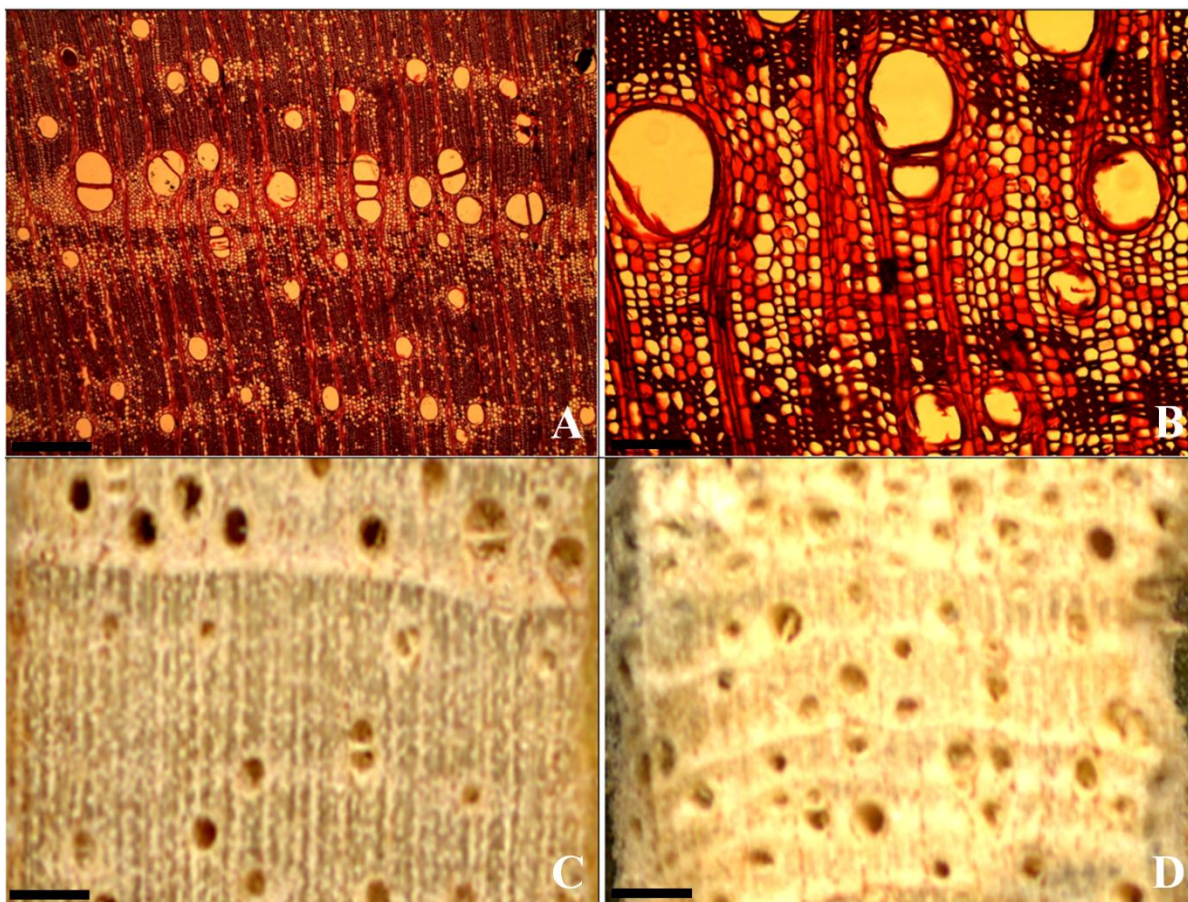


Figura 12 - Estrutura macro e microscópica do lenho de *Cedrela odorata*. Aspectos da seção transversal com vasos associados as células de parênquimas marginal axial (A, B, C). Comparação entre anel verdadeiro distinto e seção repleta de anéis de difícil distinção

5.3.2 Densitometria de raios X

A aplicação da densitometria de raios X utilizando o QTRS-01X na determinação da densidade aparente do lenho permitiu a leitura direta das amostras, evitando o uso de filme radiográfico. O processo de calibração, de leitura dos resultados e do processamento dos dados foi automático determinando de forma precisa e pontual a densidade aparente do lenho na seção radial. Costa et al. (2010) compararam os perfis radiais de densidade aparente do lenho de árvores de *Cedrela odorata* pelas metodologias de densitometria de raios X e pelo equipamento QTRS-01X, não detectando diferenças nos perfis radiais e na densidade aparente do lenho, indicando as vantagens da leitura direta nos processos de calibração, leitura e no processamento dos dados.

Os perfis diametrais de densidade aparente do lenho do tronco de cinco árvores (12, 13, 14, 15 e 20) de *Cedrela odorata*, indicam um aumento do seu valor a

partir da medula, com estabilização no lenho externo, próximo à casca (Figura 13). O lenho na região interna do tronco das árvores de *Cedrela odorata* apresenta menor valor de densidade aparente ($0,16 \text{ g/cm}^3$), em relação à região externa ($1,15 \text{ g/cm}^3$), caracterizando a presença da madeira juvenil e adulta, respectivamente. Tal modelo de variação de modo geral indicou: (i) aumento da densidade do lenho no sentido medula-casca; (ii) a caracterização da madeira juvenil e adulta e (iii) variação intra e interanual de densidade indicativa da presença de fibras, intercaladas pela presença do parênquima marginal.

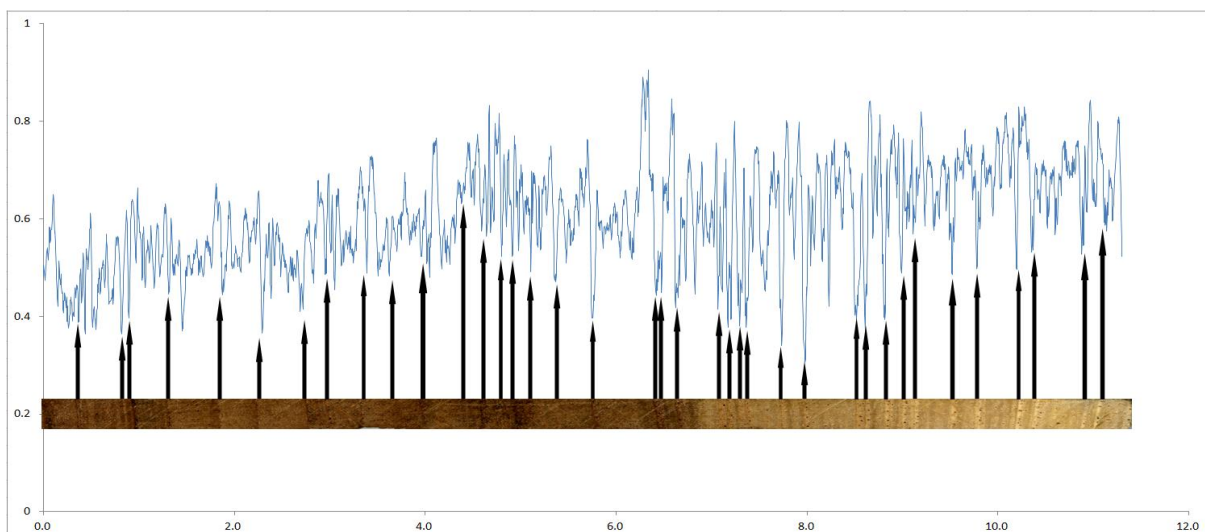


Figura 13. Delimitação dos limites dos anéis de crescimento do lenho de um raio de uma árvore de *Cedrela odorata*

O agrupamento de 3 classes pelo teste estatístico Scott-Knott, (com significância 5% ($p < 0,05$)) reuniu árvores com densidade aparente média do lenho de valor similar – as árvores da classe (iii) de maior densidade aparente do lenho têm maior % de lenho tardio, principalmente, na madeira adulta resultando em aumento da sua densidade aparente média. As árvores da classe (i), de menor densidade aparente do lenho têm maior % de lenho inicial na madeira juvenil, reduzindo o valor médio da sua densidade aparente (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios de densidade aparente (g/cm³) do lenho para as árvores de *Cedrela odorata*

Árvore (n ^o)	DAP (cm)	Densidade aparente (g/cm ³)		
		Média	Mínima	Máxima
12	18	0,60 D ¹ ($\pm 0,10$; 16,1) ²	0,30	0,91
13	16	0,56 C ($\pm 0,10$; 18,0)	0,24	0,83
14	16	0,59 D ($\pm 0,09$; 15,1)	0,27	0,94
15	21	0,51 B ($\pm 0,14$; 27,8)	0,18	1,15
20	18	0,44 A ($\pm 0,10$; 23,5)	0,16	1,02
		0,54 ($\pm 0,13$; 23,5)	0,16 ($\pm 0,06$; 37)	1,15 ($\pm 0,12$; 10,7)

1 Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, com significância de 5% ($p < 0,05$). 2 Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão (g/cm³) seguido do coeficiente de variação (%).

O coeficiente de correlação de Pearson avalia o grau e a direção dessa correlação (positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica. Dessa forma, as correlações da densidade aparente máxima e mínima com a densidade média foram significativas (ao nível de 5%) e positivas (Tabela 3). O teste mostrou um maior valor de correlação entre a densidade média e mínima, possivelmente ocasionada pela maior presença de parênquima marginal, que diminui os valores de atenuação de raios X, ocasionando menor densidade média (Tabela 4).

Tabela 3 – Correlação de Pearson para os valores médios de densidade aparente

Variáveis	D.média	D.máxima	D.mínima
Densidade Média	1	NS	0,955*
Densidade Máxima		1	NS
Densidade Mínima			1

A variável selecionada para explicar a densidade aparente média do lenho de *Cedrela odorata*, analisada em regressão Stepwise, a 5% de probabilidade, foi a densidade mínima, compondo o modelo de regressão (Equação 01) que explica 48% da variação total da densidade aparente média.

$$D_{\text{média}} = 0,295 + 1,064 * D_{\text{min}}$$

Tabela 4 - Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média (variável dependente) e suas componentes densidade máxima (Dmáx) e mínima (Dmín) (variáveis independentes), com base nos valores médios por posição radial

Passos	Dmín	Dmáx	R ²
1	95,5	NS	0,88

5.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de *Cedrela odorata*

5.4.1 Análise de Crescimento

Alguns fatores, como a localização no ambiente e posição sociológica na comunidade vegetal, exercem influência sobre os processos de competição entre indivíduos e afetam a dinâmica do crescimento em diâmetro do tronco das árvores. Curvas de crescimento cumulativas de diâmetro foram calculadas para cada árvore, através das medidas originais da largura dos anéis de crescimento em relação à idade (Figura 14). As árvores utilizadas nesta análise foram as que integraram as cronologias finais. Posteriormente suas médias foram obtidas para cada sítio de estudo e plotadas em gráficos que exibem o intervalo comum de crescimento até o ponto em que mais de duas árvores se interpõem.

Os dados exibem uma clara amplitude nas taxas de crescimento entre árvores de um mesmo sítio, e entre diferentes sítios. Para a área de Cedro de São João, indivíduos com 50 anos de idade estimada apresentaram incrementos variando entre 73 e 159 mm. Em Poço Verde a variação para indivíduos de mesma idade estimada foi de 53 a 123 mm e ainda, em Porto da Folha, estas medidas oscilaram entre 70 e 142 mm. Estes resultados exibem uma clara superioridade do sítio de Cedro de São João quanto à condições favoráveis ao crescimento diamétrico das árvores ali presentes.

Para o Incremento acumulado anual médio de cada área, as árvores foram incluídas somente até o momento em que compartilham a cronologia com no mínimo mais uma árvore, com o objetivo de retirar a falsa tendência produzida pelas árvores que possuem crescimento discrepante em relação às demais, seja ele positivo ou negativo (Figura 15).

O incremento radial médio acumulado das árvores de cada sítio permite verificar o maior crescimento da população de árvores de *Cedrela odorata* de Cedro de São João em relação às duas outras áreas de estudo. Esta localidade é a única deste estudo que se encontra sob o domínio do Bioma Mata Atlântica e, portanto, estes resultados são condizentes com o regime climático menos extremo (maior precipitação) que aqueles aos quais estão sujeitas as árvores dos ambientes de Caatinga.

Todavia os resultados obtidos para as áreas de Caatinga divergem dos aguardados, já que os índices de precipitação de Poço Verde são maiores que os da área de Porto da Folha, e antagonicamente à premissa exposta, de que árvores crescendo sob clima mais favorável produzem mais biomassa e exibem maiores valores de larguras dos anéis de crescimento, as árvores de Porto da Folha exibiram maior crescimento quando comparadas às de Poço Verde.

Este resultado pode estar vinculado ao estado de preservação das duas áreas. O sítio de estudo situado no município de Porto da Folha conta com proteção integral contra possíveis ameaças antrópicas a mais de cinco décadas. Esta comunidade vegetal encontra-se composta por árvores antigas, e notadamente quanto à população de árvores de *Cedrela odorata*, esta não sofreu nenhum tipo de investida humana durante este período. Já as árvores presentes no fragmento de Poço Verde encontram-se em uma situação bastante diferente, já que crescem próximas ao limite entre a floresta e a matriz agrícola na qual encontram-se inseridas, e portanto estão sujeitas às dificuldades ocasionadas pelo Efeito de Borda, como exposição à insolação e à modificação do regime dos ventos, maiores taxas evaporativas causadas pelos elementos anteriores, e competição intensificada com plantas pioneiras melhor adaptadas ao ambiente (MURCIA, 1995). Adicionalmente, a área da Fazenda Santa Maria da Lage, em Poço Verde, sofreu extração vegetal de médio impacto no passado (FERREIRA, 2011), com o corte seletivo de árvores de *C. odorata* para obtenção de madeira de alta qualidade, ocasionando a rebrota dos fustes, que foram coletadas nesta área de estudo.

Em populações florestais que sofreram este tipo de exploração, como consequência de processos de deriva genética e até mesmo aumento da endogamia, as árvores remanescentes tendem a apresentar diversidade e qualidade genética inferior, com menor porte, decorrente de menores taxas de crescimento

(KARTAWINATA et al., 1989; KAGEYAMA, 1998). Para árvores de *Cedrela fissilis*, a densidade de indivíduos pode aumentar nas florestas secundárias em relação às primárias, porém a longo prazo, a estruturação familiar da nova população pode gerar processos de endogamia, e tornam-se presentes suas implicações negativas, como a depreciada reprodução entre os indivíduos e a perda de vigor (KAGEYAMA, 1998).

Ainda em relação ao Incremento radial acumulado das árvores, nota-se que o intervalo natural de vida de *Cedrela odorata* é maior do que 108 anos - a máxima idade amostrada - para as regiões estudadas. Para a Dendrocronologia, estes resultados possuem grande importância, já que demonstram a presença de árvores longevas produzindo anéis de crescimento anuais, permitindo desta maneira o desenvolvimento de séries cronológicas extensas, e conseqüentemente estudos da dinâmica populacional de longo prazo nestes ecossistemas florestais, além da possibilidade de reconstruções climáticas. A partir dos mesmos dados utilizados na confecção das curvas de crescimento acumulado totais e médias, o Incremento radial médio pôde ser obtido para cada população estudada (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores do número e largura média dos anéis de crescimento, desvio padrão e diâmetro a altura do peito (DAP) médios das árvores de *Cedrela odorata* nos diferentes sítios

Sítio	Larg. dos Anéis (mm)	N ^o de Anéis (máximo)	Desv Pad (Larg. de Anéis)	DAP (cm)
Cedro de São João	2.31	82	1.81	38.98
Poço Verde	0.52	98	5.33	25.50
Porto da Folha	2.18	108	6.90	31.38

Novamente os dados de média de crescimento quanto à largura dos anéis de crescimento, e agora também quanto ao DAP médio das árvores analisadas mostram as maiores taxas de crescimento para as árvores da Mata Atlântica em Cedro de São João, seguidas pelas árvores de Porto da Folha, e as menores taxas de crescimento de Poço Verde. Estes resultados exibem uma insólita diferença de 77,5% entre os valores de incremento médio anual de Cedro de São João e Poço Verde, evidenciando um crescimento 4,5 vezes maior das árvores do primeiro sítio. As árvores de *Cedrela odorata* possuem a tendência de menor desenvolvimento em áreas mais secas, (TOMAZELLO FILHO et al., 2000) porém inesperadamente as árvores do ambiente mais seco estudado apresentam uma pequena diferença nos

valores médios de incremento radial quando comparados aos valores do ambiente mais úmido. Assim, o crescimento da área mais seca é somente 0.05 vezes menor que o da área mais úmida.

Os totais absolutos de crescimento anual médio registrados para as árvores de Poço Verde são baixos em relação não somente às outras áreas, mas também quando comparadas à árvores de *C. odorata* crescendo em outros ambientes. Dunisch *et al.* (2000) estudando árvores da mesma espécie crescendo na Amazônia Central, no estado de Mato Grosso, encontrou valores de crescimento médio de 2.95 mm ao ano, enquanto neste estudo valores de crescimento médio de 2.31 e 2.18 mm/ano foram observados para as áreas de Mata Atlântica, em cedro de São João, e Caatinga, em Porto da Folha, respectivamente.

Segundo Stahle *et al.* (1999), a longevidade das espécies é produto de fatores ecológicos, e depende diretamente da intensidade dos distúrbios antropogênicos. Seguindo estas premissas, os resultados observados para a análise de crescimento das árvores de *C. odorata* sugerem uma forte influência do estado de conservação do ambiente também sobre o ritmo de crescimento das árvores de *Cedrela odorata*.

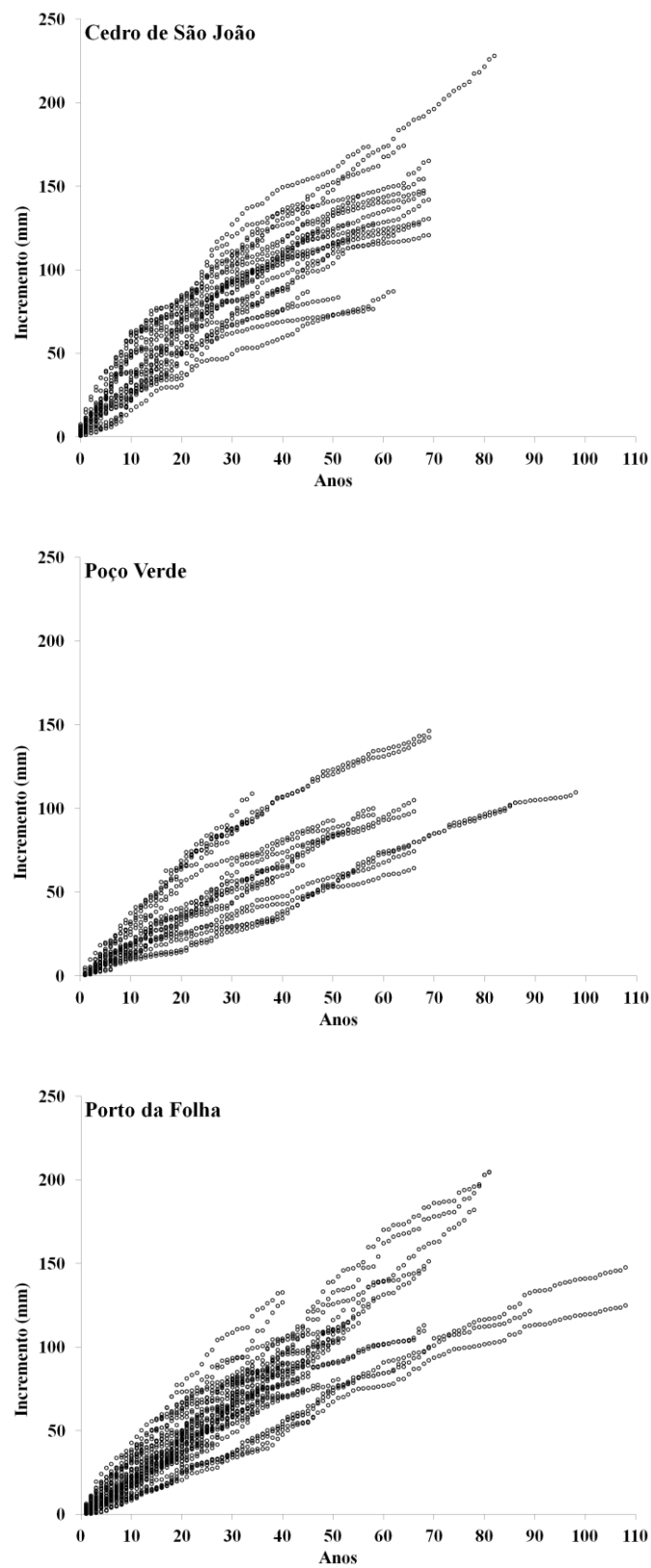


Figura 14 - Incremento radial acumulado das mensurações de largura dos anéis de crescimento das árvores que compuseram as cronologias de cada área de estudo

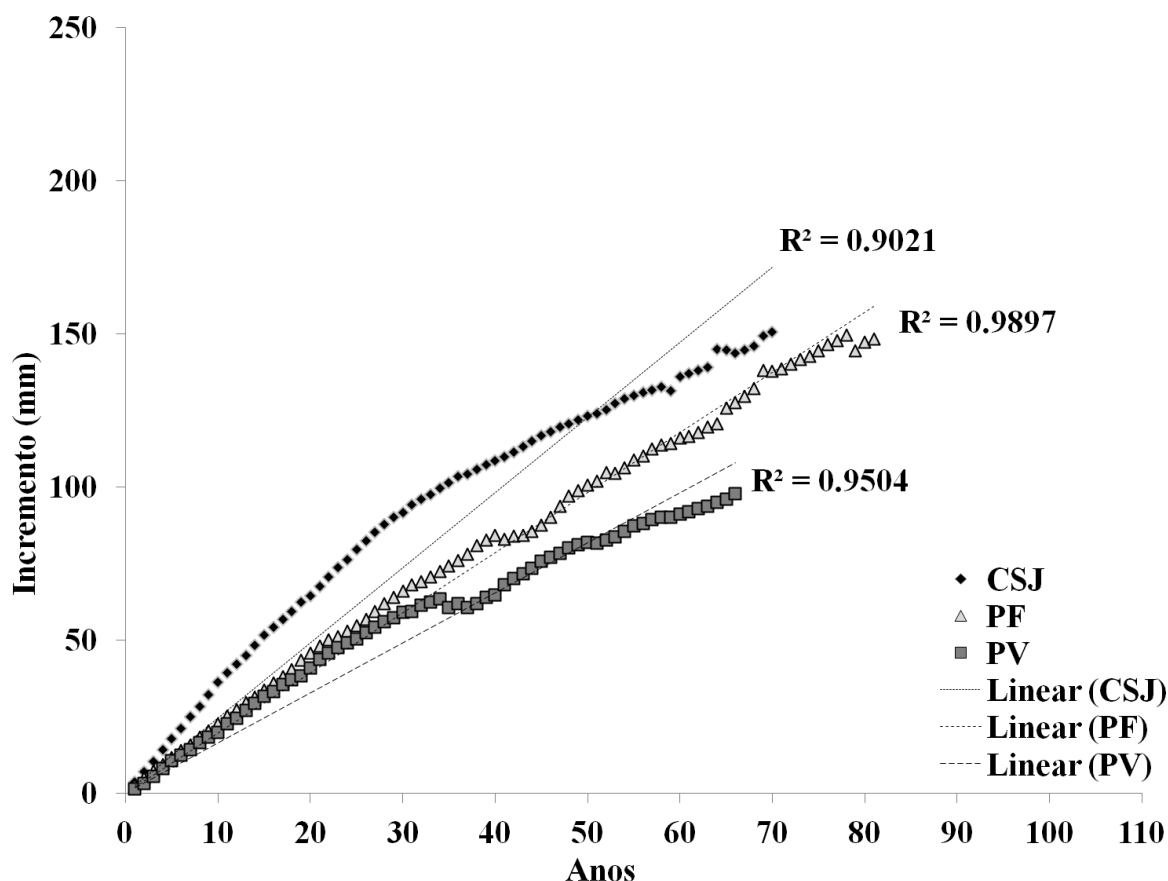


Figura 15 - Incremento radial médio acumulado das populações das árvores de *Cedrela odorata* de cada uma das áreas de estudo

5.5 Dendrocronologia de *Cedrela odorata*

Um total de 156 amostras radiais de lenho, provenientes de 68 árvores foram estudadas nos três sítios de estudo selecionados. Na área de Cedro de São João, em Bioma de Mata Atlântica, 43 raios de 22 árvores foram avaliados; em Poço Verde, 73 raios de 23 árvores foram avaliados, sendo que este maior número de raios coletados é devido ao menor DAP das árvores em relação às outras áreas, permitindo que a cada investida do trado de incremento dois raios fossem coletados, atravessando o diâmetro total das árvores; e por fim 40 raios de 23 árvores foram avaliados para a área de Porto da Folha.

As primeiras avaliações das séries de medidas radiais dos anéis de crescimento foram feitas com gráficos produzidos no programa Excel, do pacote Office do Windows. Isto permitiu o ajuste inicial dos raios de cada árvore, que foi conferido e finalizado com programas estatísticos específicos, como o COFECHA. A

união entre estes dois tipos de análises é considerada importante para a correta sincronização dos anéis de crescimento de espécies tropicais, que podem apresentar limites difusos, ou mesmo com grandes variações de crescimento interanual, podendo facilitar a sincronização pela presença de anos de referência (BRIENEN e ZUIDEMA, 2005).

O programa COFECHA realizou um controle de qualidade das séries de medidas, calculando uma série “master” a partir de um conjunto de séries e comparando-a com cada série de medidas. Em seguida, o COFECHA disponibilizou um relatório com os valores da correlação de Pearson para cada série, isso permitiu corrigir possíveis problemas de falsos anéis de crescimento, detecção de anéis ausentes ou mesmo a exclusão das séries de anéis de crescimento que não apresentaram correlações significativas com a série “master”, como consequência de um ajuste rústico com a mesma. A exclusão destas séries foi necessária para a obtenção de uma sincronização final com um valor acima do nível crítico de significância (Pearson 99%).

Durante o processo de sincronização das amostras no programa COFECHA, a longitude de análise da sequência de anéis foi realizada com um intervalo de 20 anos, e uma janela de análise de 10 anos. Assim, o valor crítico de correlação obtido para a análise dos anéis de todas as áreas de estudo foi o mesmo (0.515), e para as três cronologias desenvolvidas, este valor foi ultrapassado (Tabela 4). Estes resultados evidenciaram boas sincronizações dos crescimentos das árvores de *C. odorata* de cada população de estudo, diretamente decorrente da presença de um sinal comum ao crescimento – e/ou à limitação deste - para estas árvores.

As extensões médias das séries, mesmo com as diferenças entre suas máximas longitudes (82; 99; 110 anos), mostrou idades das árvores próximas para as três populações estudadas, com média etária próxima aos 50 anos para todos os sítios de estudo. Isso evidenciou o sucesso na seleção das árvores de diferentes classes de diâmetro durante o processo de coleta, já que os indivíduos de baixo DAP também foram contemplados com o objetivo de disponibilizar árvores jovens para a confecção das cronologias, que contassem com diferentes ritmos de crescimento (Tabela 6).

Tabela 6 - Controle de qualidade das séries de anéis de crescimento realizado pelo programa COFECHA, com os respectivos dados de entrada utilizados

Sítio	Número de árvores/séries		Extensões médias das séries	Extensões das cronologias (Anos)	Lapso temporal
	Inicial	Final			
Cedro de São João	22 (43)	14 (28)	53.8	82	1927-2008
Poço Verde	23 (73)	09 (21)	53.1	99	1913-2011
Porto da Folha	23 (47)	19 (41)	51.6	110	1902-2011

Todas as cronologias apresentadas contaram com um número satisfatório de indivíduos (09 - 19) e séries (21 - 41). O percentual de árvores incluídas em cada cronologia em relação às coletadas também atingiu valores relativamente altos, com 63,6% de aproveitamento para a área de Cedro de São João; 39,1% para a área de Poço Verde e, por fim, 82,6% para a área de Porto da Folha. Outros autores, trabalhando com o gênero *Cedrela* obtiveram valores intermediários aos apresentados (BRIENEN e ZUIDEMA, 2005 [73%]; DUNISCH *et al.*, 2003 [79%]).

Para o sítio de Cedro de São João, mesmo com as condições mais propícias ao crescimento e maior complacência das árvores, o processo de sincronização proporcionou um alto valor de correlação entre os anéis de crescimento das 14 árvores analisadas. Por fim, o melhor valor obtido foi o que representa o sítio de Porto da Folha, devido às árvores deste local crescerem sob a influência de um clima com os menores índices pluviométricos anuais entre as áreas estudadas, assim como para todo o Estado de Sergipe. A presença de um sinal comum do crescimento é notável, e decorre, principalmente, da adaptação destas árvores aos curtos períodos propícios ao crescimento vegetativo das plantas.

As três cronologias obtidas apresentaram valores significativos de correlação entre as séries temporais e também em suas sensibilidades (Tabela 7). A sensibilidade média para o gênero *Cedrela* em áreas de floresta úmida, podem ser de 0.57 para *C. odorata* a 0.65 para *C. fissilis*, demonstrando que as árvores de todos os sítios não apresentam complacência do crescimento em relação ao ambiente (DÜNISCH *et al.*, 2003; BRIENEM e ZUIDEMA, 2005). Os resultados deste estudo mostraram valores da sensibilidade condizentes com os trabalhos anteriores. Os valores são diretamente proporcionais às condições de crescimento encontradas

nos três locais, apresentando uma escala crescente de valores, inversamente proporcional à intensidade do principal fator limitante ao crescimento em áreas secas, representado pela quantidade de precipitação. Esta diferença de intensidade da resposta em crescimento das árvores crescendo em ambientes xéricos e méxicos à quantidade de umidade foi observada também em um extenso gradiente climático no Norte da Espanha (PASHO *et al.*, 2011).

Tabela 7 - Controle de qualidade das séries de anéis de crescimento realizado pelo programa COFECHA, com os respectivos dados de saída fornecidos pelo programa

Sítio	Total de anéis analisados	% de Anéis ausentes	Intercorrelação	Sensitividade
Cedro de São João	1507	1.1	0.586	0.569
Poço Verde	1116	0	0.532	0.695
Porto da Folha	2115	0	0.685	0.771

A presença de tais fatores limitantes ao crescimento, especialmente para a área de Porto da Folha, poderia gerar a ausência de anéis de crescimento visíveis nos anos assolados por secas intensas. No entanto para este sítio, assim como para o outro remanescente de Caatinga, em Poço Verde, anéis ausentes não foram identificados, evidenciando a grande adaptação das árvores de *C. odorata* para ambientes xéricos. Somente na área de Cedro de São João houve a ausência de formação de anéis visíveis em alguns anos, no entanto, como este trabalho foi desenvolvido a partir de amostras coletadas por método não destrutivo, estes anéis podem ser na verdade anéis em lente, fruto da inativação local do câmbio vascular, que simplesmente não se encontravam presentes nas baguetas coletadas, mas que poderiam existir em outras porções do DAP das árvores.

Após a sincronização das árvores ser finalizada com a presença de valores significativos, o processo de padronização das mesmas foi realizado com o auxílio do programa ARSTAN. Este programa proporcionou a aquisição de uma cronologia local para cada área de estudo. Este processo foi realizado a partir do ajuste de uma curva média às séries de larguras radiais dos anéis de crescimento. Em seguida, cada medida de largura dos anéis de crescimento anuais foi dividido pelo valor correspondente de seu desvio padrão à curva de ajuste, originando assim uma série de índices de crescimento, a cronologia. Este tipo de análise permitiu que amostras que apresentassem grandes diferenças em suas taxas de crescimento pudessem

ser agregadas em uma série padronizada e sem tendências de crescimento indesejadas (Figura 16).

Neste estudo, a retirada de tendências foi realizada a partir de funções exponenciais negativas e/ou de regressão linear aplicadas às séries padronizadas. Estas funções removeram o efeito de distúrbios internos de crescimento, como a tendência biológica de crescimento das árvores, destacando os efeitos externos, como o clima. Três variantes cronológicas, denominadas “Standard”, “Residual” e “Arstan”, foram produzidas pelo programa ARSTAN a partir dos dados originais, com o objetivo de manter o máximo de sinal comum e o mínimo de ruído. A série “master” utilizada nesta pesquisa para a análise da dinâmica de crescimento das árvores em relação aos fatores ambientais foi a cronologia “Standard”, que é a única das três que não conta com nenhum procedimento adicional de modelagem autorregressiva (COOK, 1985).

A cronologia “Standard” de índices de crescimento representou o crescimento médio de cada ano observado para todo o conjunto de árvores de cada um dos sítios de estudo, e é representada por uma série de valores onde 0 é o valor mínimo, e representa um ano sem crescimento, 1 ou 1000 representa o crescimento médio, e não há máximo definido. As cronologias dos três sítios de estudo podem ser observadas na Figura 17.

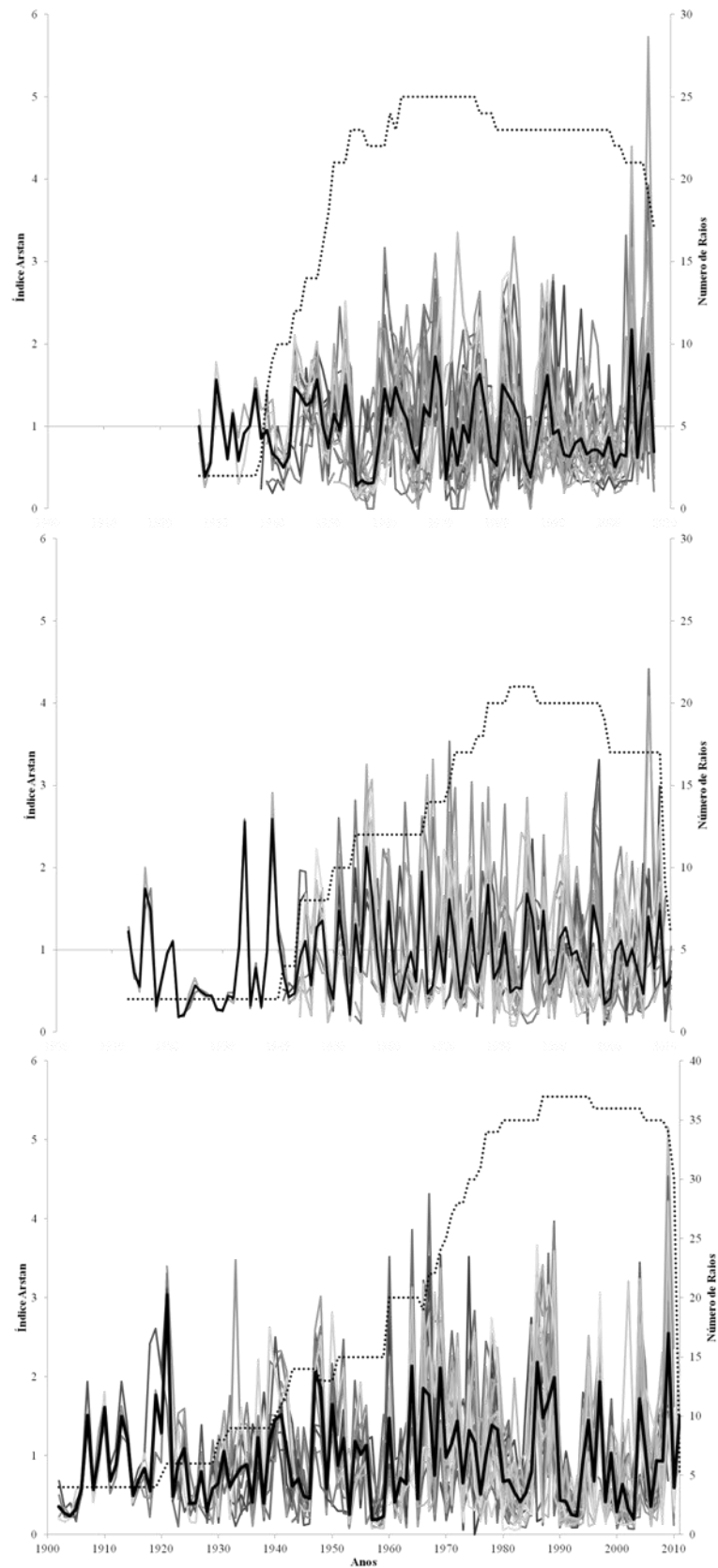


Figura 16. Séries cronológicas de anéis de crescimento contendo sinal comum de crescimento, apresentando os Índices Arstan e o número de séries utilizadas em cada segmento da cronologia.

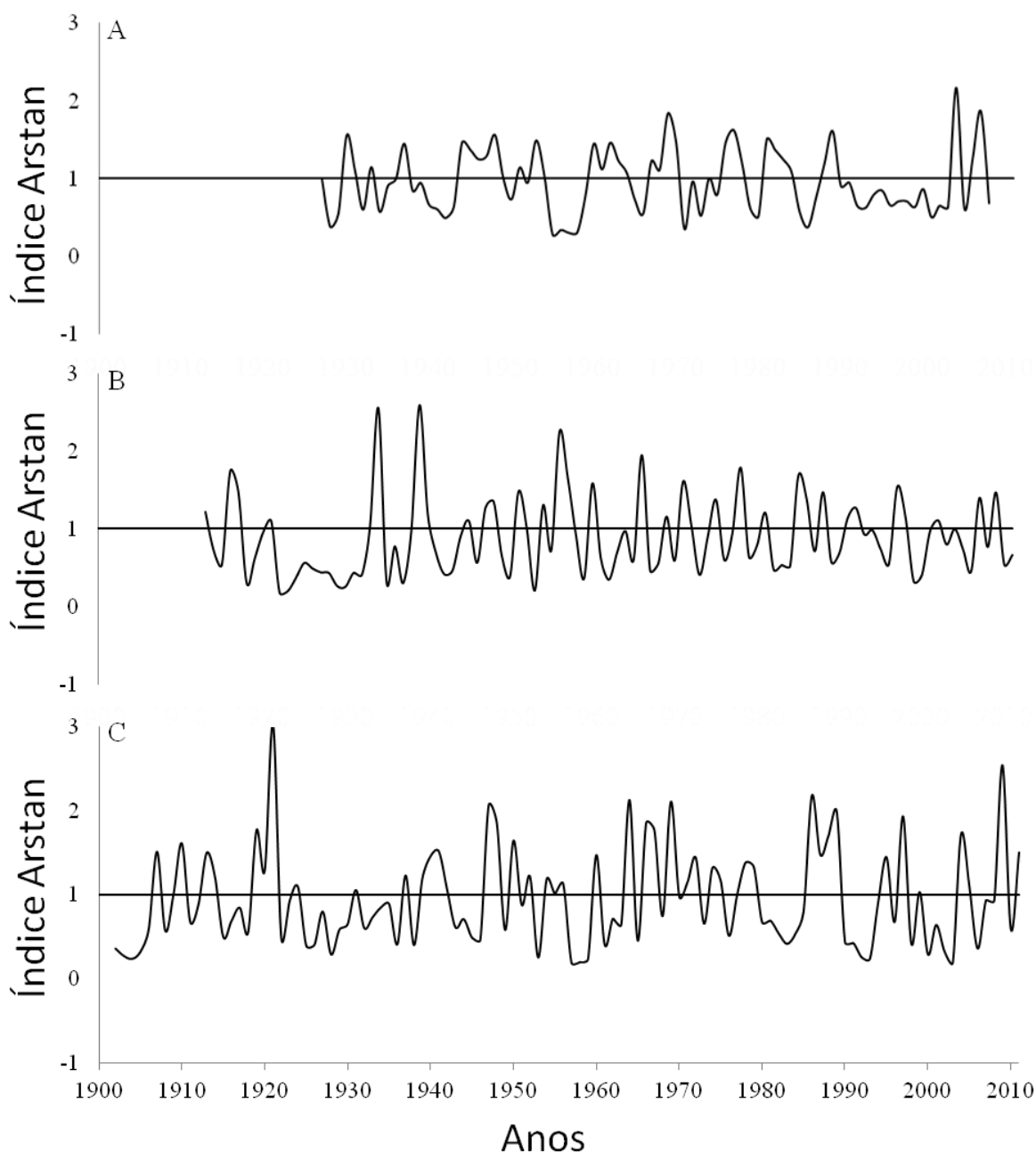


Figura 17 - Cronologias confeccionadas para as áreas de Cedro de São João (A), Poço Verde (B) e Porto da Folha (C)

As séries temporais apresentadas na forma de índices representam a variação da largura dos anéis de crescimento livre de tendências advindas da idade, dimensão, posição sociológica e do grau de perturbação de cada área, evidenciando somente as influências idiossincráticas do ambiente em que estão inseridas as árvores (CHAGAS, 2009).

Assim como em diversos outros estudos (DÜNISCH, 2002,2003; BRIENEM e ZUIDEMA 2006a, b; HIETZ, 2005), os resultados obtidos para este, indicam que as

árvores de *Cedrela odorata* apresentam anéis de crescimento anuais, com clara demarcação anatômica registrada pelas linhas de parênquima marginal presentes em seu xilema secundário. A construção de séries cronológicas de anéis de crescimento é incipiente para ambientes de Caatinga, e esta pesquisa fornece a segunda leva de resultados neste molde, logo após a construção de uma cronologia de *Pachira stenopetala* Casar, Malvaceae (identificada por especialista, que inicialmente foi mencionada como *Pseudobombax marginatum*) desenvolvida por Nogueira Junior (2011), como parte de sua Dissertação de Mestrado no Núcleo de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Caatinga, da Universidade Federal de Sergipe. Para a área de Mata Atlântica, diversos estudos prévios demonstram a formação de anéis de crescimento anuais em árvores de *C. odorata* crescendo em diferentes fitofisionômias, sob diversas condições ambientais na região Sudeste (BOTOSSO *et al.*, 2000; MARCATI *et al.*, 2006; LISI, 2008).

5.6 Dendroclimatologia de *Cedrela odorata*

A influência das variáveis climáticas no crescimento diamétrico do tronco das árvores de *Cedrela odorata* dos diferentes sítios pôde ser constatada através da análise dendroclimatológica das séries cronológicas. Estas análises foram realizadas por meio de funções de resposta amplamente utilizadas para expor as relações entre o clima e a dinâmica de crescimento das árvores (FRITTS, 1976), e que são geradas a partir de coeficientes de correlação entre cada cronologia de anéis de crescimento e as variáveis climáticas.

As correlações entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento, obtidas pelo programa ARSTAN, e as variáveis climáticas - na forma de índices de temperatura média mensal do Oceano Atlântico e precipitação mensal acumulada, de cada local de estudo - mostram-se significativas para os períodos analisados. As análises compreendem não somente a estação de crescimento corrente, como também os meses anteriores a esta, já que a largura dos anéis de crescimento pode ser influenciada por processos presentes fora da estação corrente (FRITTS, 1976). As cronologias foram analisadas em relação à um período de 24 meses, que engloba o intervalo correspondente ao ano corrente, assim como o ano anterior em sua totalidade.

Realizando uma análise geral das funções de resposta de Precipitação para os três sítios foi possível notar que este fator climático possui correlações significativas e positivas em relação ao crescimento do tronco das árvores para o ano corrente de todos os sítios. Esta (i) correlação positiva significativa estende-se pelos meses de Março, Abril, Junho, Julho e Agosto quando levados em conta os três locais, e somente para o sítio de Porto da Folha apresenta (ii) correlações significativas negativas, relativas aos meses de Maio e Agosto da estação de crescimento do ano prévio.

Para Poço Verde e Porto da Folha, a quantidade de precipitação dos meses de Outubro e Novembro também se mostrou positiva e significativa. As correlações positivas com os meses do ano corrente indicaram que quanto maior o nível de precipitação nos mesmos, maiores foram os incrementos em diâmetro dos troncos das árvores. Para a área de Porto da Folha, quanto maior a precipitação nos meses de Maio e Agosto do ano prévio, menor foi o incremento diamétrico. Estes resultados indicaram, para os três locais, a influência direta da chuva dos períodos de transição, e do meio da estação de crescimento sobre o incremento dos troncos das árvores de *C. odorata*, já que as correlações positivas e significativas foram registradas na transição da estação seca para a chuvosa (Março), para os meses úmidos (Abril, Maio e Junho) e ao final destes e início da próxima estação seca (Julho-Agosto).

Segundo Sthale et al. (1999) a chuva do meio da estação de crescimento possui uma forte influência sobre o crescimento das árvores, e neste estudo esta influência foi constatada na forma das correlações positivas e significativas para este período em todos os locais de estudo. Por outro lado, a importância dos períodos de transição em relação ao incremento diamétrico das árvores é ressaltada por Jacoby e D'Arrigo (1990), e os resultados encontrados neste estudo corroboram com os estudos de Dünisch et al. (2003), e Brienen e Zuidema (2005), que relatam a grande influência dos totais pluviométricos dos períodos de transição sobre o crescimento de árvores de *C. odorata* em ambientes tropicais.

Quanto a variável climática representada pelas médias mensais de temperatura da superfície do Oceano Atlântico, esta mostrou influenciar significativamente dois dos três sítios. A área de Cedro de São João não apresentou correlações significativas entre o crescimento diamétrico das árvores e a

temperatura (Figura 18), possivelmente devido a menor sensibilidade das árvores deste local (0.569). Este resultado indica que, como as árvores deste ambiente desfrutam de maiores quantidades de chuva anualmente, elas podem apresentar menores respostas de crescimento mais complacentes ao componente climático de temperatura. As áreas em Poço Verde e Porto da Folha apresentaram correlações significativas negativas e positivas, respectivamente (Figuras 19,20).

O sítio de Poço Verde apresentou correlações significativas negativas para o período de transição entre o final da estação seca e a chuvosa do ano corrente (Fevereiro, Março, Abril). Isto pode decorrer de uma relação de dependência fisiológica, por parte do câmbio, de temperaturas locais amenas, para que o mesmo seja reativado.

Na região de Porto da Folha, a correlação entre a temperatura e o crescimento das árvores mostrou-se significativa, porém positiva, e para diversos meses consecutivos do ano prévio, tanto na estação seca, como na úmida (Abril a Novembro). Os mesmos resultados foram encontrados por Rauber (2010), que trabalhou com a correlação entre temperaturas mínimas e árvores de *C. fissilis* na região Sul do Brasil, e são explicados pela relação positiva entre o metabolismo da planta e temperaturas mínimas mais altas, porém isto pode decorrer das baixas temperaturas registradas para os meses de verão naquela região, que podem atuar como um fator limitante a esta espécie.

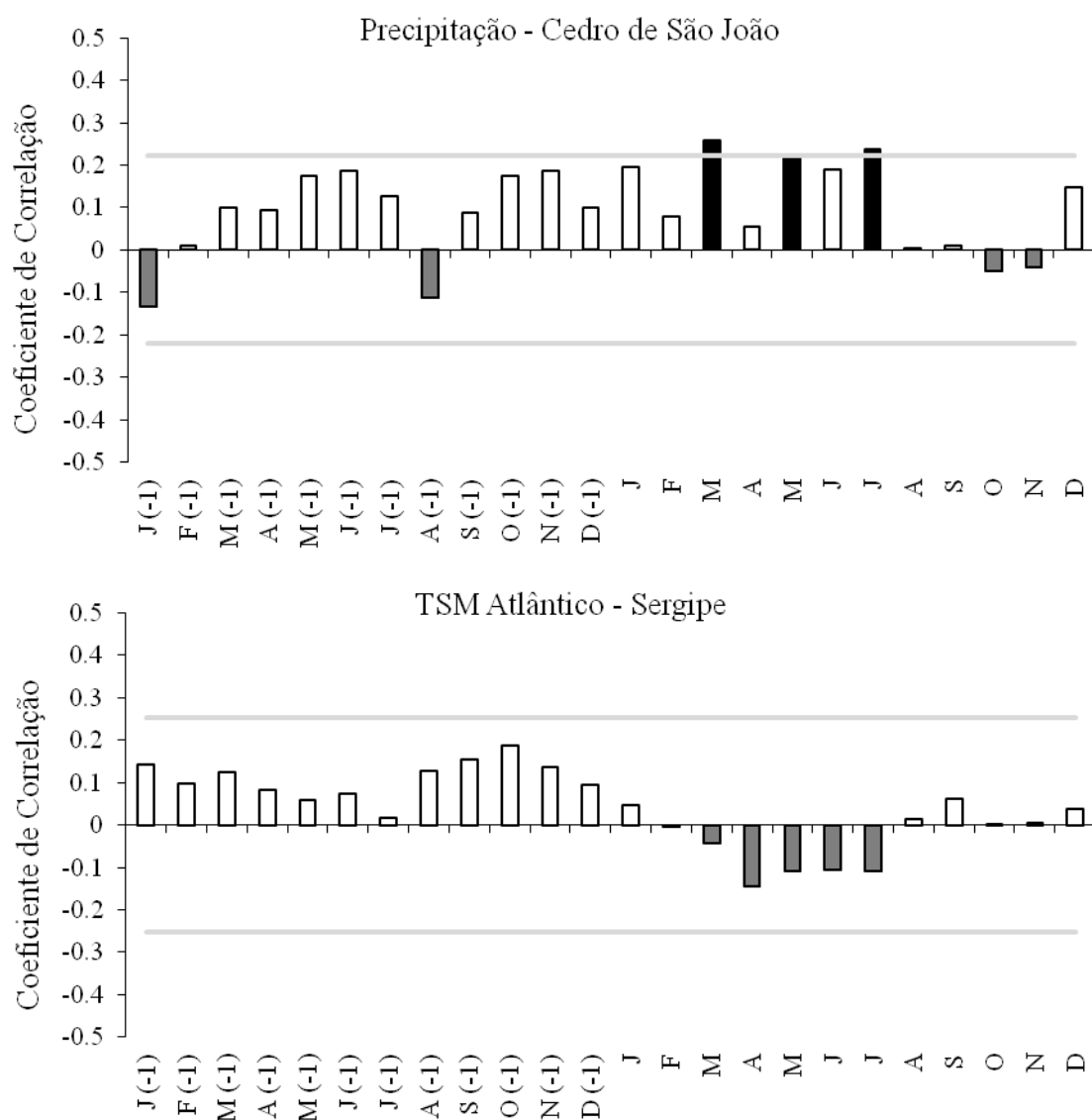


Figura 18 - Correlações das cronologias dos anéis de crescimento das árvores de *C. odorata* do sítio de Cedro de São João com as variáveis climáticas (precipitação mensal acumulada; índice de temperatura média mensal do Oceano Atlântico). As colunas pretas indicam valores significativos

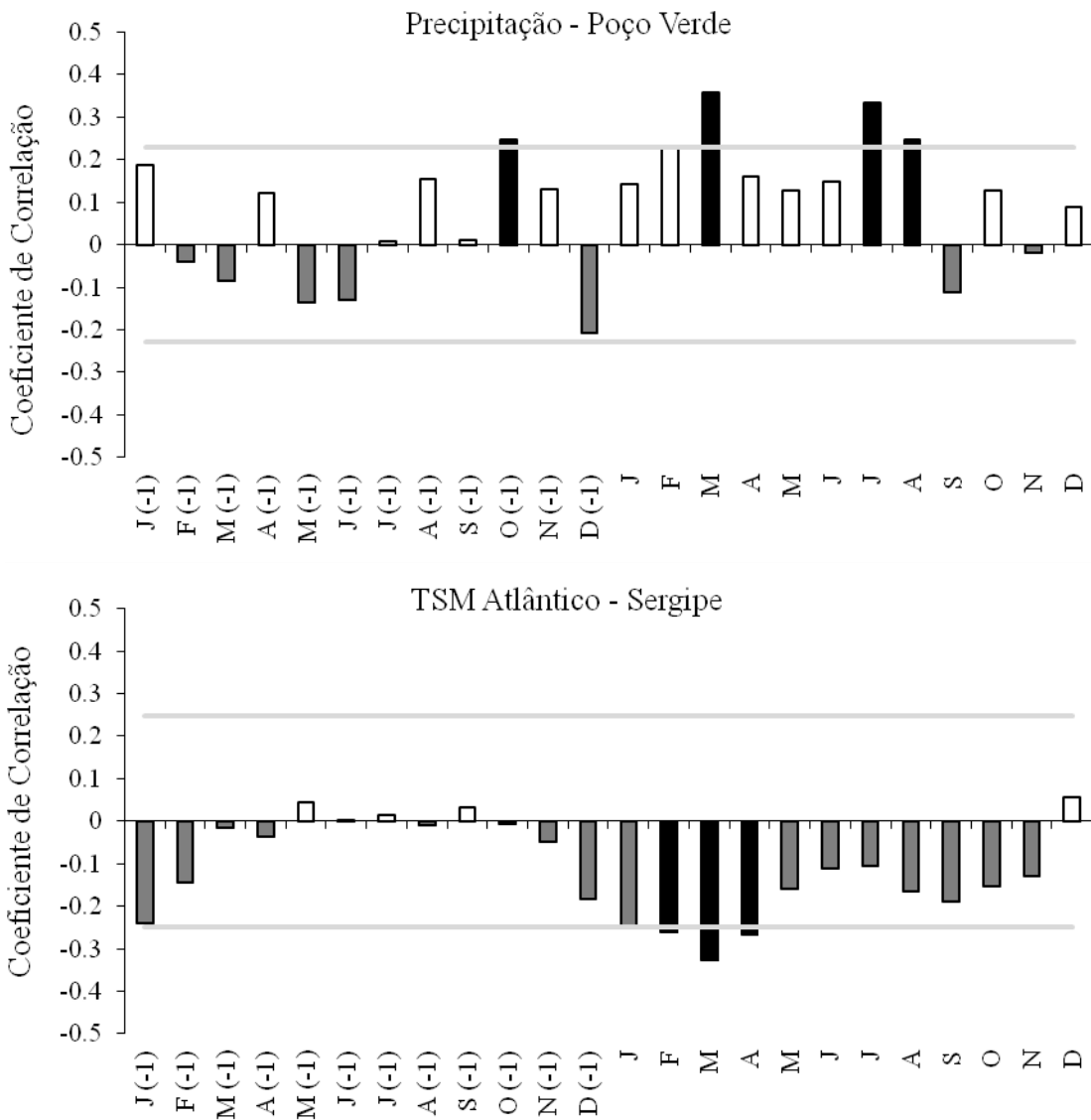


Figura 19 - Correlações das cronologias dos anéis de crescimento das árvores de *C. odorata* do sítio de Poço Verde com as variáveis climáticas (precipitação mensal acumulada; índice de temperatura média mensal do Oceano Atlântico). As colunas pretas indicam valores significativos

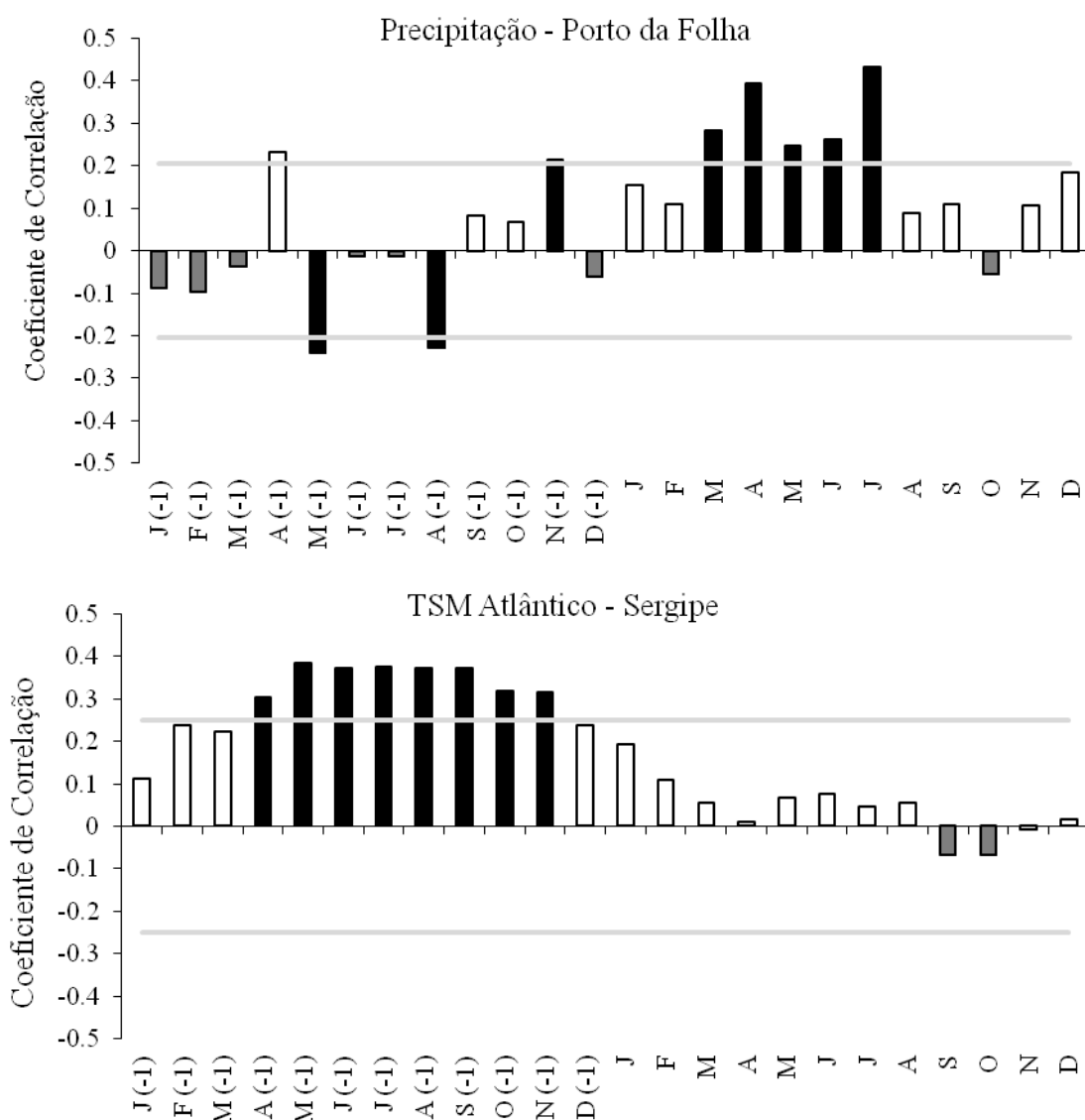


Figura 20 - Correlações das cronologias dos anéis de crescimento das árvores de *C. odorata* do sítio de Porto da Folha com as variáveis climáticas (precipitação mensal acumulada; índice de temperatura média mensal do Oceano Atlântico). As colunas pretas indicam valores significativos

Os resultados obtidos de correlações entre as cronologias obtidas para as três áreas de estudo com os fatores climáticos de precipitação de cada local e dos índices da temperatura do Oceano Atlântico para o litoral de Sergipe são expressivos quanto as informações de que (i) as populações de plantas estudadas, especialmente da Caatinga são dependentes das precipitações que ocorrem no ano corrente a formação de cada anel de crescimento, e (ii) que as precipitações que

ocorrem a cada ano, são dependentes do aquecimento ocorrido meses antes na superfície do Oceano Atlântico, próximo do litoral de Sergipe. Estes resultados corroboram ainda com o entendimento da influencia do clima sobre a formação anual de anéis de crescimento em árvores de espécies de clima tropical como é o caso da *Cedrela odorata* em Sergipe e com a informação da relevância das condições climáticas sobre a variação interanual do crescimento secundário de *Cedrela odorata* (Oliveira, 2009).

Os resultados deste estudo contribuem ainda com a compreensão da ocorrência da diversidade de ambientes em Sergipe: Mata Atlântica, Agreste e Caatingas, visto a dependência das precipitações em relação às temperaturas da superfície do Oceano Atlântico nas diferentes estações do ano. Assim para Cedro de São João a vegetação é mais diversa e de maior porte, para Poço Verde, a vegetação é baixa, com presença de enorme quantidade de Bromeliaceae, e para Porto da Folha, devido a preservação do local e das características típicas da Caatinga arbórea, ocorrem espécimes de Cedro mais longevas.

5.7 Isótopos estáveis de carbono e eficiência intrínseca no uso da água das árvores de *Cedrela odorata*

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ Celular (‰) apresentaram um aumento em seus valores entre 1951 e 2011, e como o $\delta^{13}\text{C}$ Atmosférico (‰) sofreu uma depleção durante o mesmo período por conta da adição de ^{12}C proveniente dos motores de combustão movidos a combustíveis fósseis, de -6.86 para -8.31 ‰ (Figura 21), os valores de $\Delta^{13}\text{C}$ também diminuíram. A variação anual de $\delta^{13}\text{C}$ Celular (‰) para o período de

1951 a 2011 foi relativamente alta, variando de um mínimo de -29,75 a um máximo de -25,72 ‰.

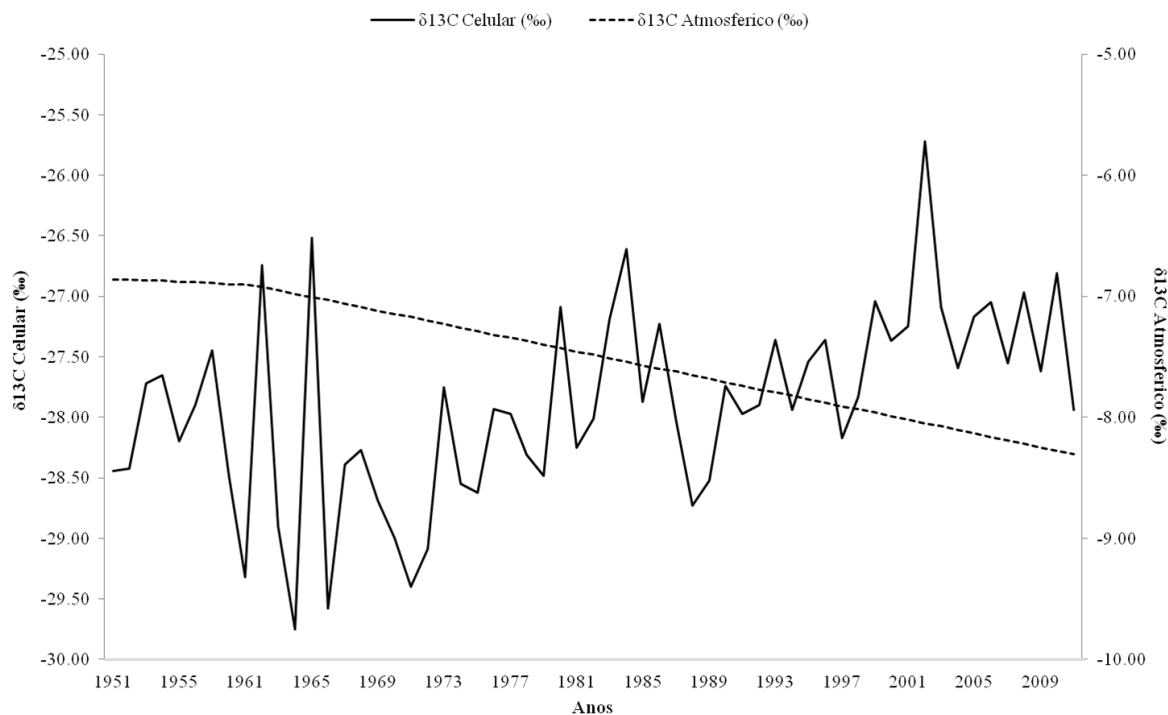


Figura 21 - Valores anuais de $\delta^{13}\text{C}$ Celular, obtido a partir das análises isotópicas dos anéis de crescimento de *Cedrela odorata*; e de $\delta^{13}\text{C}$ Atmosférico, obtido a partir de McCarroll e Loader (2004)

O grande aumento na $[\text{CO}_2]$ atmosférico no decorrer das últimas décadas pode ser notado também nos valores crescentes do $[\text{CO}_2]$ intercelular (c_i), que apresentou grandes variações interanuais. A eficiência intrínseca do uso da água (W_i) também aumentou, de um valor mínimo de 71.4 (1964) para um valor máximo de $124.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (2002), representando um aumento de 42,7% no decorrer das últimas quatro décadas (Figura 22), enquanto a $[\text{CO}_2]$ atmosférico (c_a) sofreu um aumento de 319.4 para 371.5 ppm no mesmo período, um aumento de 14%. Assim, o aumento médio da W_i foi de $1.02 \mu\text{mol mol}^{-1}/\text{ppm}$ para o período de 1964 a 2002.

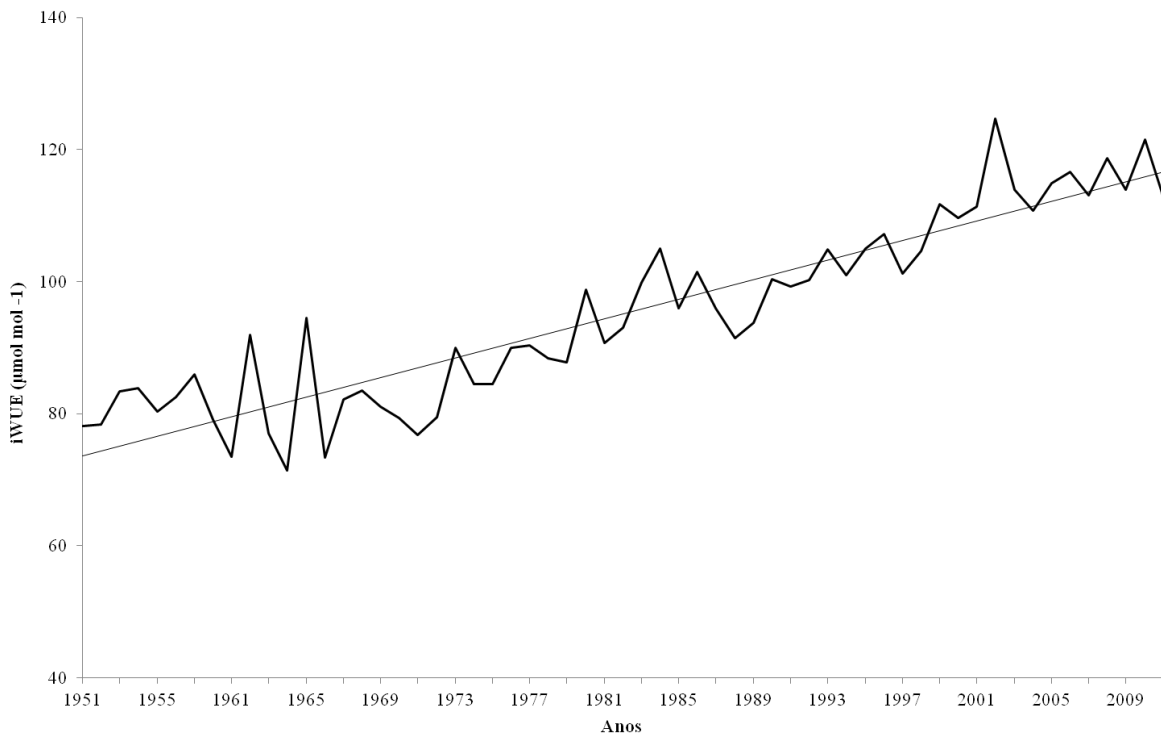


Figura 22 - Eficiência intrínseca do uso da água (W_i) nas últimas seis décadas, ilustrando um aumento considerável dos níveis de fotossíntese em relação a quantidade de água utilizada no processo

Uma sincronização entre o incremento médio anual dos anéis de crescimento das árvores de *Cedrela odorata* utilizadas nas análises isotópicas e a variação interanual de c_i pôde ser observada (Figura 23), com anos de alto crescimento diamétrico apresentando maiores valores de c_i . A média de incremento das três árvores utilizadas para as análises isotópicas apresentou correlação significativa com os valores de c_i médios ($r = 0.47$).

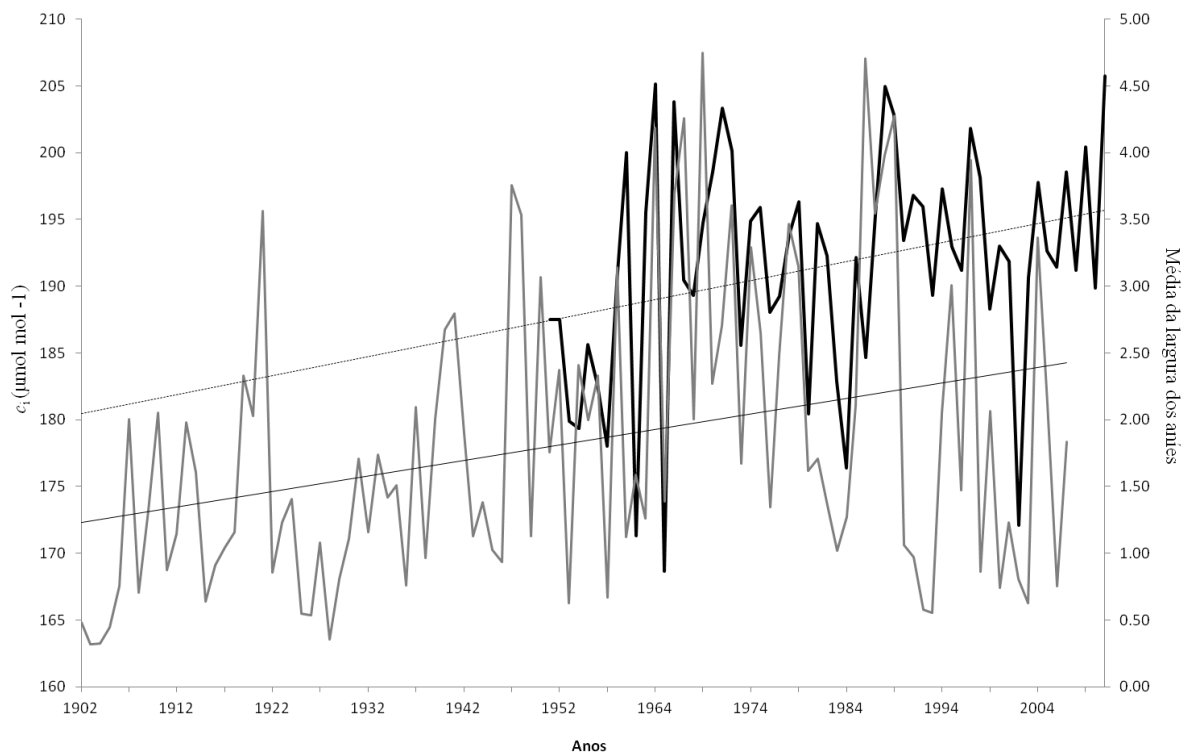


Figura 23 - Sincronização entre o incremento médio anual dos anéis de crescimento das árvores de *Cedrela odorata* e a variação interanual de c_i

Funções de resposta climática para os valores de concentração de Dióxido de Carbono (CO_2) no mesófilo foliar (c_i) evidenciaram correlações significativas e positivas para estes parâmetros. Os valores de c_i correlacionaram-se positivamente com a precipitação dos meses de Março, Abril, Junho e Julho do ano corrente, e apresentaram valores negativamente significativos para o mês de Novembro do mesmo ano (Figura 24).

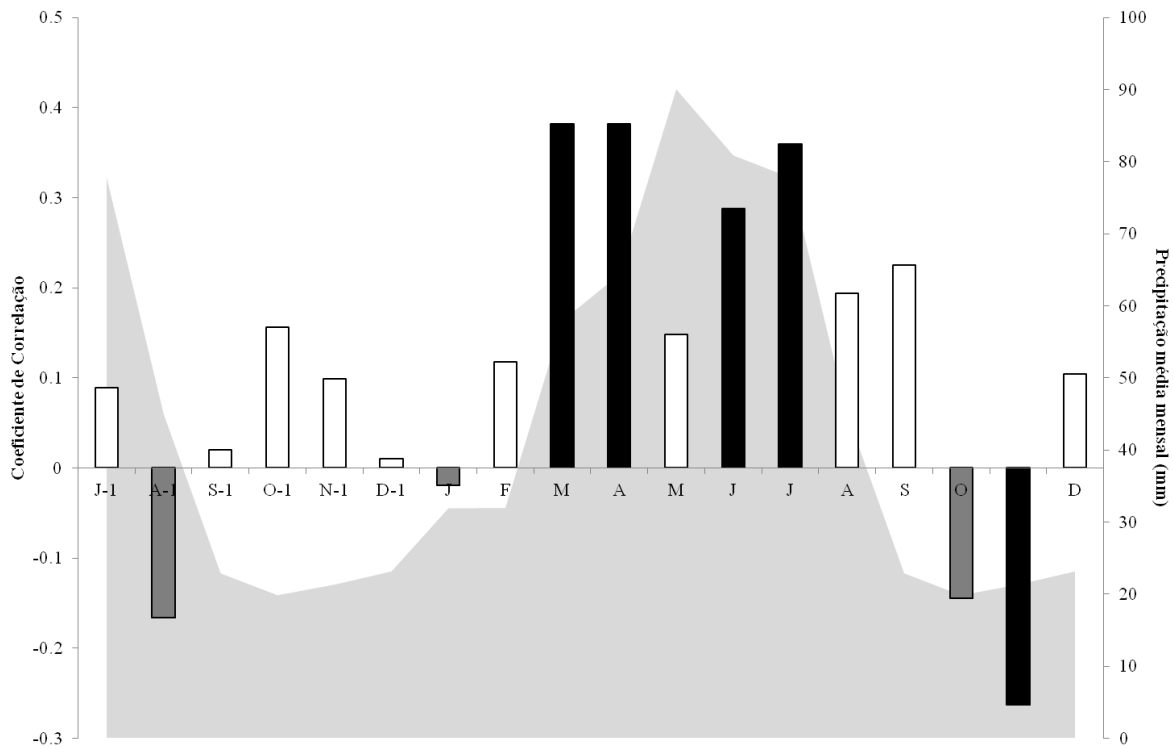


Figura 24 - Correlações entre a precipitação mensal média do município de Porto da Folha e os valores de concentração de Dióxido de Carbono (CO_2) no mesófilo foliar (c_i). As barras pretas simbolizam as correlações significativas entre os dois parâmetros

Correlações significativas positivas também foram encontradas para o período de transição entre o Outono e o Inverno, que contam com os maiores totais pluviométricos anuais e as menores temperaturas (Figura 25).

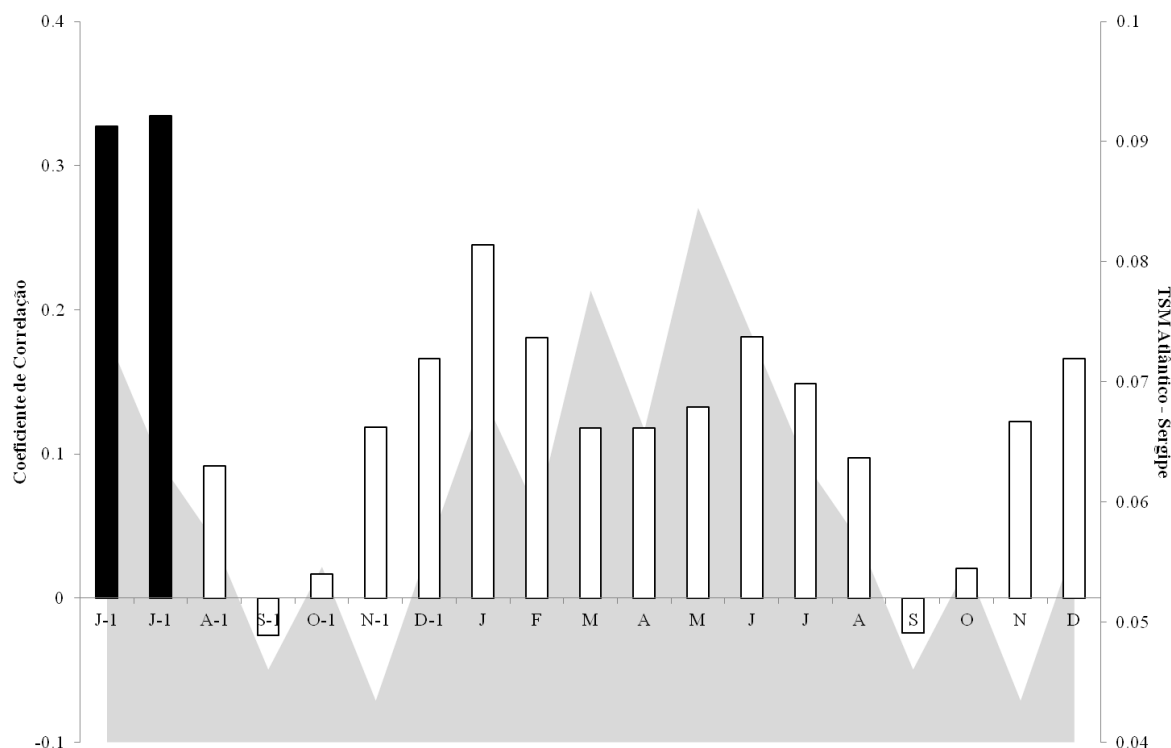


Figura 25 - Correlações entre os índices de Temperatura da superfície do oceano Atlântico (TSM) e os valores de concentração de Dióxido de Carbono (CO_2) no mesófilo foliar (c_i). As barras pretas simbolizam as correlações significativas entre os dois parâmetros

Os isótopos estáveis de carbono presentes no leno de *Cedrela odorata* são influenciados positivamente pela precipitação da estação de crescimento do ano corrente, e pelas temperaturas do ano imediatamente anterior. Estes resultados coincidem com aqueles das funções de resposta do clima em relação às cronologias de anéis de crescimento. Como para as análises citadas, os totais pluviométricos influenciaram as taxas de fotossíntese das árvores durante a estação de crescimento, assim como as temperaturas da superfície do oceano Atlântico no período de transição entre a estação chuvosa e a seca do ano anterior.

6 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

A observação de diferentes fenofases durante as expedições de coleta de amostras radiais do lenho comprovaram a influência da sazonalidade climática sobre as árvores, na atividade do cambio e na formação dos anéis de crescimento.

As árvores de *Cedrela odorata* formam anéis de crescimento anuais, comprovados pela relação das medidas de largura dos anéis de crescimento entre as árvores das diferentes populações do Estado de Sergipe.

Os perfis diametrais de densidade aparente do lenho por densitometria de raios X indicaram aumento da medula para a casca e estabilização no lenho externo e os valores médios de densidade agrupam as árvores em 3, sendo que a densidade aparente mínima explicou a variação da densidade aparente média. Tais resultados ressaltam a importância e eficácia do método para a caracterização do lenho de *Cedrela odorata*.

As diferentes condições de crescimento, proporcionadas pelos diferentes regimes climáticos dos sítios de coleta influenciaram o ritmo de crescimento radial do tronco das árvores de *Cedrela odorata*.

As variáveis climáticas foram determinantes no crescimento do tronco das árvores, formando anéis de crescimento largos e estreitos, resultado de sua influência na atividade cambial.

O estado de conservação das áreas de estudo, assim como a matriz em que se inserem as mesmas, induziram diferenças quanto ao no incremento radial anual do tronco, e conseqüentemente sobre o DAP médio das populações de árvores de *Cedrela odorata*.

A análise isotópica de Carbono permitiu o cálculo da eficiência intrínseca do uso da água, que mostra uma tendência de crescimento durante as últimas seis décadas.

REFERÊNCIAS

ALDER, D.; SYNNOTT, T.J. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. **Tropical Forestry Papers**, Oxford, n.25, p.1-124, 1992.

ALVARADO, J.R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru.** 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.5, n.2, p.149-153, 1981.

ARAGÃO, J.O.R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil, **Bulletin. Institute Français Études Andines**, Paris, v.3, p.839-844, 1998.

BORCHERT, R. Phenology and control of flowering in tropical trees. **Biotropica**, Washington, v.15, p.81-89, 1983.

BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, Dordrecht, v.75, p.1437-1449, 1994.

BORCHERT, R. Climate periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **Iawa Journal**, Leiden, Netherlands, v.20, p.239-247, 1999.

BOTOSSO, P.C.; MATTOS, P.P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação.** Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25p. (Documentos Série Técnica, 75).

BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** São Paulo: EDUC, 2001. p.145-171.

BOTOSSO, P.C.; VETTER, R.E. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em oito espécies arbóreas tropicais de floresta de terra firme (Amazônia). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.3, n.2, p.163-180, 1991.

BOTOSSO, P.C.; VETTER R.E; TOMAZELLO FILHO, M. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), jacareuba (*Calophyllum angulare* A.C. Smith, Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijiga* Mart. ex Benth, Leg. Caesalpinioideae) de floresta de terra firme, em Manaus-AM. In: ROIG, F.A. (Ed.) **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p. 357–380.

BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, London, v.94, n.2, 2006a.

BRIENEN, R. W.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, Berlin, v.146, p. 1–12. 2005.

BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.226, n.1-3, 2006b.

BULLOCK, S.H.; SOLFS-MAGALLANES, A. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. **Biotropica**, Lawrence, Kansas, USA, v.22, p.22-35, 1990.

COOK, E.R. **A Time series approach to tree-ring standardization**. 1985. 171p. (PhD in Management of Watersheds) - University of Arizona, Tucson, AZ, USA, 1985.

COSTA, O.A.; SOUZA, I.F.; SANTOS, L.M.V.; COSTA, A.G. Sistemas atmosféricos atuantes no Nordeste do Brasil durante a estação de verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2004. p.20.

COSTA, D.S.P.; TOMAZELLO FILHO, M.; CASTRO, V.R. Comparação de métodos de densitometria de raios X na determinação do perfil radial de densidade de *Cedrela odorata*, cedro, Meliaceae. In: SIICUSP - SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 8. 2010. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2010. p.2785.

CHAGAS, M.P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. E *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP.** 2009. 114p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

DAI KAIMEI, D.; FAN, C.Y. Bomb produced ^{14}C content in tree rings grown at different latitudes. **Radiocarbon**, Tucson, v.28, p.346-349, 1986.

DUNISCH, O.; BAUCH, J., GASPAROTTO, L. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). **Iawa Journal**, Leiden, Netherlands, v.23, p.101-119, 2002.

DUNISCH, O.; MONTOIA, V.R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees-Structure and Function**, Berlin, v.17, p.244-250, 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2. ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K.A.; MARIAUX, A. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F.H.; BERLYN, G. (Ed.). **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research**. New Haven: Yale University, 1981. p.83-100 (Bulletin, 94).

FARIAS, W. R. G.; CORREIA, M. F. Descargas atmosféricas e interrupções de energia elétrica na área da CHESF: Relação com Variáveis atmosféricas em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.23, n.3, p.270-281, 2008.

FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBICK, K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Washington, v. 40, p.503–537, 1989.

FENG, X.H. Long-term $c(i)/c(a)$ response of trees in western North America to atmospheric CO₂ concentration derived from carbon isotope chronologies. **Oecologia**, Berlin, v.117, p.19–25, 1998.

_____. X.H. Trends in intrinsic water-use efficiency of natural trees for the past 100–200 years: a response to atmospheric CO₂ concentration. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Berlin, v.63, p.1891–1903, 1999.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p.15-28, 2005.

FERREIRA, E.V.R. **Composição florística, estrutura da comunidade e síndrome de dispersão de sementes de um remanescente de Caatinga em Poço Verde – Sergipe**. 2011. 81p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

FRITTS, H.C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 100p.

GALVÃO, C.O. **Aplicabilidade em Recursos Hídricos da Previsão de Precipitação de Longo Prazo no Nordeste do Brasil**. 1999. 228p. Dissertação (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

GRISSINO-MAYER, H.D. Assessing crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, Tucson, v.57, p.205–221, 2001.

HIETZ, P.; WANEK, W.; DUNISCH, O. Long-term trends in cellulose delta C-13 and water-use efficiency of tropical *Cedrela* and *Swietenia* from Brazil. **Tree Physiology**, Oxford, v.25, n.6, p.234, 2005.

HOLMES, R. L. **Dendrochronology**: program manual. Tucson Laboratory of Tree-Ring Research, 1994. 40p.

HOLMES, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v.43, p.69-78, 1983.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **Iawa Bulletin New Series**, Leiden, Netherlands, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae**. Brasília, 1991. 19p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos municípios brasileiros**. Pesquisa de informações básicas municipais 1999. Rio de Janeiro, Departamento de População e Indicadores Sociais, 2001.

JACOBY, G.C.; D'ARRIGO, R.D. Teak (*Tectona grandis* L.F.), a new species of largescale dendroclimatic potential. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v.8, p.83-98, 1990.

JACOBY, G.; D'ARRIGO, R.D. Tree rings, carbon dioxide, and climatic change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America**, Washington, v.94, p.8350-8353, 1997.

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523p.

KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifizierung der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, Berlin, v.6, p.593-679, 1900.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; SOUZA, L.M.I. Consequências genéticas da conservação da fragmentação sobre populações de espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.12, n.32, p.65-70, 1998.

KARTAWINATA, K.; JESSUP, T.C.; VAYDA, A.P. Exploitation in southeast Ásia. In: LIETH, H.; WERGER, M.J.A. (Ed.). **Ecosystems**: biogeographical and ecological studies. Netherlands: Elsevier, 1989. v.2, p.591-610.

LEAVITT, S.W. Isotopes and trace elements in tree rings. In: INTERNATIONAL LIBBY, W.F.; ANDERSON, E.C.; ARNOLD, J.R. Age determination by radiocarbon content: worldwide assay of natural radiocarbon. **Science**, Washington, v.109, p.227-228, 1949.

LISI, C.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C. Determination of annual growth increment of sub-tropical species in Brazil by dendrometer bands and tree-ring analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF DENDROCHRONOLOGY, 7., 2006. Beijing, China, 2006. **Proceedings...** Beijing, China, 2006. p.85-86

LISI, C.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE, L. ; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, Utrecht, v.29, p.189-207, 2008.

LOBÃO, M.S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil.** 2011. 215p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MACHADO, I.C.S.; BARROS, L.M.; SAMPAIO, E.V.S.B. Phenology of the caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. **Biotropica**, Washington, v.29, p.57-68, 1997.

MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R.F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae) 2008. **IAWA Journal**, Lieden, v.27, n.2, p.199-211, 2006.

MARIAUX, A. La périodicité des cernes dans les bois de limba. **Bois et Forêts des Tropiques**, Paris, v.128, p.39-53, 1969.

MCCARROLL, D.; LOADER, N.J. Stable isotopes in tree rings. **Quaternary Science Reviews**, Washington, v.23, p.771–801, 2004.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 10, n.2, p.58-62, 1995.

MIGUEZ, J.D.G. A convenção-quatro das Nações Unidas sobre mudança do clima e o protocolo de Quioto. In; LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna:Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 1-30.

NEWSTROM, L.E.; FRANKIE, G.W.; BAKER, H.G. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, Washington, v. 26, n.2, p.141-159, 1994.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.34, p.3-51, 1972.

NOGUEIRA JUNIOR, F. C. **Estrutura e composição de uma vegetação ripária, relações dendrocronológicas e climáticas na Serra dos Macacos em Tobias Barreto, Sergipe-Brasil**. 2011. 173p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

OLIVEIRA, D.G. **Análise da vegetação em um fragmento de caatinga no município de Porto da Folha, Sergipe, Brasil**. 2012. 145p. Dissertação (Mestrado na área de Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.

PASHO, E. Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 12, p.1800-1811, 2011.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p.3-73.

QMS - QMS Tree Ring Analyzer Model QTRS-01X. **Users Guide**. Knoxville, TN.: Quintek Measurement Systems, 2002. 1v.

QUEIROZ, L.P. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana, Bahia, 2009. 467p.

REICH, P.B.; BORCHERT, R. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, Oxford, v.72, p.61-64, 1984.

ROCHA, P.L.B.; QUEIROZ, L.P.; PIRANI, J.R. Plant species and habitat structure in a sand dune field in the Brazilian Caatinga: a homogeneous habitat harbouring an endemic biota. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.27, n.4, p.739-755, 2004.

RODAL, M.J.N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. 1992. 198p. Dissertação (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

RODAL, M.J.N.; SAMPAIO, E.V.S.; FIGUEIREDO, M.A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico - ecossistema caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1992. 24p.

ROIG, F.A. (Comp.). Dendrocronología en los bosques Del Neotrópico: revisión y prospección futura. In: _____ **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p.307-355.

SANTANA, J.A.S. **Estrutura fitossociológica, produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga do Seridó do Rio Grande do Norte**. 2005. 184p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2nd. ed. Ames: Iowa State College Press, 1951. 228p.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings, basics and applications of Dendrochronology**. Dordrecht: Reidel, 1988. 276p.

SERGIPE. (Estado) Secretaria de Estado do Planejamento, da Ciência e da Tecnologia. **Atlas digital sobre recursos hídricos Sergipe**. Sergipe SEPLANTEC/SRH. 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, L.B. **Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da caatinga nordestina seu potencial para o desenvolvimento sustentável**. 2006. 131p. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Feira de Santana, 2006.

STAHLE, D.W.; MUSHOVE, P.T.; CLEAVELAND, M.K.; ROIG, F. AND HAYNES, G.A. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 24, p.217-229, 1999.

STUIVER, M.; BRAZIUNAS, T.F. Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climatic change. **Nature**, London, v. 328, p.58-60, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. A dendrocronologia em espécies florestais. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 46., 1995. Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: FFCLRP/USP, 1995. p.30.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, S.C. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F. A. (Ed.) **Dendrocronologia en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p.381 - 431.

TOMAZELLO FILHO, M.; CARDOSO, N.S. Variations of the vascular cambium of teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. In: WIMMER, R.; VETTER, R.E. (Org.). **Tree-ring analysis Biological, Methodological and Environmental Aspects**. Oxon, UK: CABI, . 1999. p.147-154

TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C.S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.66, p.46-55, 2004.

TRICART, J. As zonas morfoclimáticas do Nordeste brasileiro. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 3, p. 17-25, 1961.

TSUCHIYA, A. Hypertrophic growth of trees of the Caatinga plant community and water balance. **Latin American Studies**, Oxford, v.11, p.51-70, 1990.

_____ Preliminary study on the relationship between vessel growth of thorny shrubs and water balance in the semi-arid region, northeastern Brazil. **Geographical Sciences**, Berlin, v.50, p.123-131, 1995.

_____ Water balance in northeast Brazil. **Latin American Studies**, Oxford, v.10, p.47-59, 1988.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p.

VETTER, R.E. Growth periodicity and age of Amazonian tree species. Methods for their determination. In: ROIG, F.A. (Ed.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p.135-155.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H.A.;LUBCHENCO, J.; MELLILO, J.M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, New York, v. 277, p.494 - 499, 1997.

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

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 20, p.217 - 231, 2002.