

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

**Variação Climática Local e Global no Crescimento Radial da *Cedrela* sp.
(Meliaceae), na Microrregião de Óbidos (PA)**

Wayka Preston Leite Batista da Costa

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**VARIAÇÃO CLIMÁTICA LOCAL E GLOBAL NO CRESCIMENTO
RADIAL DA *Cedrela* sp. (Meliaceae), NA MICRORREGIÃO DE
ÓBIDOS(PA)**

WAYKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA

Sob a Orientação da Professora
Dra. Érika Flávia Machado Pinheiro

e Co-orientação do Professor
Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca

Dissertação submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental** no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – Área de concentração em Meio ambiente.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2021

A reprodução total ou parcial deste documento é permitida para fins técnicos, acadêmicos e científicos, desde que na reprodução sejam citados a autora, o título, a instituição e o ano da dissertação.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C
837v
Costa, Wayka Preston Leite Batista da, 1973-
Variação Climática Local e Global no Crescimento
Radial da *Cedreia* sp. (Meliaceae), na Microrregião de
Óbidos (PA) / Wayka Preston Leite Batista da Costa. -
Recife, 2021.
84 f.: il.

Orientadora: Érika Flávia Machado Pinheiro.
Coorientador: João Vicente de Figueiredo Latorraca.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
engenharia Agrícola e Ambiental, 2021.

1. Dendrocronologia. 2. Amazônia. 3. Anéis de
crescimento. 4. COFECHA. 5. ARSTAN. I. Pinheiro, Érika
Flávia Machado, 1975-, orient. II. Latorraca, João Vicente
de Figueiredo, 1962 -, coorient. III Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em
engenharia Agrícola e Ambiental. IV. Título.

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código do Financiamento 001

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

WAYKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – PGEAAmb, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental**, tendo como Área de Concentração Mudanças Climáticas

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 11/03/2021

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Membros da Banca:

Érika Flávia Machado Pinheiro. Dra. UFRRJ. (Orientadora/Presidente da banca)

Marcos Gervásio Pereira. Dr. UFRRJ.

Jonnys Paz Castro. Dr. UEPA.



Emitido em 15/03/2021

HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 24/2021 - IT (12.28.01.27)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 16/03/2021 08:04)

ERIKA FLAVIA MACHADO PINHEIRO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DeptS (12.28.01.00.00.33)

Matrícula: 1740899

(Assinado digitalmente em 15/03/2021 11:40)

MARCOS GERVASIO PEREIRA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DeptS (12.28.01.00.00.33)

Matrícula: 1060711

(Assinado digitalmente em 15/03/2021 11:51)

JONNYS PAZ CASTRO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: 899.259.122-53

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipaC.ufrj.br/documentos/> informando seu número: **24**, ano: **2021**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **15/03/2021** e o código de verificação: **7e70ce9289**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu companheiro de vida, Francisco Erivan Alves Bezerra, aos nossos filhos(as) Carolina Preston, Francisco Preston (in memoriam), Rafael Preston (in memoriam), Luzia Preston (in memoriam) e a minha irmã Weryka Preston.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

ao Criador e aos meus pais, Jaci Batista da Costa e Rita da Silva Leite, pelo dom da vida;

a minha filha, Carolina Preston Alves Bezerra, que apesar de tão jovem, encarou o desafio de ficar mais de um ano longe de mim, no entanto, nunca duvidou do meu amor incondicional;

a meu companheiro de vida, pai dos meus filhos, guardião dos meus sonhos, meu melhor amigo, Francisco Erivan Alves Bezerra, por sempre lembrar-me que apesar de ser mãe e sua companheira, também sou uma profissional;

a Dra. Érika Flávia Machado Pinheiro (orientadora) por todos os ensinamentos, pelo acolhimento, paciência e amizade;

ao Dr. João Vicente de Figueira Latorraca (coorientador) pelos ensinamentos, disponibilidade, amizade e por ter “me acolhido” em seu laboratório;

aos meus irmãos, os “Preston”, e aos não “Preston”;

aos amigos, irmão e filhos do coração Adriana França Figueira, Aécio Dantas de Sousa Júnior, Bianca Cerqueira Martins, Carlos Eduardo Silveira da Silva, Danilo Henrique dos Santos Ataíde, Elisângela Victor Figueira, Eudócio Rafael, Fábio Henrique Della Justina do Carmo, Glacyanne Christine Vieira dos Santos, José Henrique Camargo Pace, Jéssica Grama Mesquita, Jonnys Paz Castro, Maristela Volpato, Norma da Silva Rocha Maciel, Osmar de Freitas Neves Júnior, Paulo Cesar Leal de Carvalho, Poliane Pereira de Souza, Tiago José Bandeira Sales, Thaís Barbosa Serpa Alves, Tânia Maria Tavares Pinto, Thayanne Caroline Castor Neto e Victória Maria Monteiro Mendonça;

à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (PGEAAmb), pela oportunidade de realizar o curso e desenvolver esta pesquisa;

ao Dr. Victor Hugo Pereira Moutinho e Anselmo Júnior Corrêa Araújo pelo carinho, amizade e apoio, antes e durante, o percurso do curso;

a Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa) e ao Laboratório de Tecnologia da Madeira/Ufopa pela oportunidade de contribuir para a pesquisa e melhoria da educação em nossa região e,

a todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização desta pesquisa e do cumprimento de mais uma etapa da minha vida acadêmica e profissional.

RESUMO

COSTA, Wayka Preston Leite Batista. **Varição Climática Local e Global no Crescimento Radial da *Cedrela* sp. (Meliaceae), na Microrregião de Óbidos (PA)**. 2021. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A Amazônia é um componente-chave do clima global. Suas condições atmosféricas e climáticas, em escala local e global, apresentam estreita relação entre o clima e o uso da terra. O desmatamento das florestas tropicais é um dos principais fatores da perda de biodiversidade e, por consequência, de importantes serviços ecossistêmicos. A *Cedrela* sp., da família botânica Meliaceae, conhecida popularmente como cedro, faz parte da lista de espécies prioritárias para conservação e apresenta potencial como espécie marcadora das mudanças do clima. As ocorrências dos eventos do El Niño Oscilação do Sul (ENOS) ocasionam modificações pronunciadas no padrão climático da região amazônica. O objetivo geral foi analisar a influência das variáveis climáticas locais e globais no crescimento radial da espécie *Cedrela* sp. da microrregião de Óbidos-PA. Visa-se recomendá-la como espécie marcadora da mudança do clima. Para realizar as análises foram coletados dez discos em um plano de manejo florestal sustentável na Gleba Xiriri do município de Óbidos, Pará, no ano de 2018. Em seguida, as amostras foram preparadas e analisadas utilizando os softwares Image-Pro 4.5', planilha da Microsoft Excel, COFECHA e ARSTAN, para as medições das larguras dos anéis, organização dos dados, análises das mensurações, padronização e transformação dos dados de largura dos anéis em índices, respectivamente. Posteriormente, esses índices foram correlacionados com as variáveis climatológicas locais de precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, nebulosidade e evapotranspiração, e, com a ocorrência dos eventos climáticos do ENOS. O crescimento radial da *Cedrela* sp., foi correlacionado com uma série climatológica de 46 anos (1971 a 2017) para o clima local e uma série climatológica de 67 anos (1950 a 2017) para a ocorrência dos eventos do ENOS. Como principais resultados destacam-se: (i) os anéis de crescimento da *Cedrela* sp. são anuais, do tipo semiporosos, delimitados por faixa marginal de parênquima; (ii) a idade estimada das árvores variaram entre 61 e 205 anos (1812 a 2017); (iii) o crescimento radial da espécie *Cedrela* sp. é influenciado, em ordem decrescente, pelas variáveis climatológicas locais temperatura média do ar, evapotranspiração, precipitação pluviométrica e; (iv) o crescimento radial também é influenciado pelos eventos de El Niño. A *Cedrela* sp. na microrregião de Óbidos é uma espécie marcadora das mudanças do clima.

Palavras-chave: Dendrocronologia, Amazônia, anéis de crescimento, COFECHA, ARSTAN.

ABSTRACT

COSTA, Wayka Preston Leite Batista. **Local and Global Climate Change in the Radial Growth of *Cedrela* sp. (Meliaceae), in the Microregion of Óbidos (PA)**. 2021. 84 p. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Engineering Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

The Amazon is a key component of the global climate. Its atmospheric and climatic conditions, on a local and global scale, have a close relationship between climate and land use. Deforestation of tropical forests is one of the main factors in the loss of biodiversity and, consequently, of important ecosystem services. *Cedrela* sp., From the botanical family Meliaceae, popularly known as cedro, is part of the list of priority species for conservation and has potential as a marker for climate change. The occurrences of the El Niño Southern Oscillation (ENOS) events cause marked changes in the climatic pattern of the Amazon region. The general objective was to analyze the influence of local and global climatic variables on the radial growth of *Cedrela* sp. of the micro-region of Óbidos-PA. It is intended to recommend it as a marker of climate change. To carry out the analyzes, ten discs were collected in a sustainable forest management plan in Gleba Xiriri in the municipality of Óbidos, Pará, in 2018. Then, the samples were prepared and analyzed using the Image-Pro 4.5' software, spreadsheet of Microsoft Excel, COFECHA and ARSTAN, for measurements of ring widths, organization of data, analysis of measurements, standardization and transformation of ring width data into indexes, respectively. Subsequently, these indexes were correlated with the local climatological variables of rainfall, average air temperature, cloudiness and evapotranspiration, and with the occurrence of ENOS climatic events. The radial growth of *Cedrela* sp., Was correlated with a 46-year climatological series (1971 to 2017) for the local climate and a 67-year climatological series (1950 to 2017) for the occurrence of ENOS events. The main results are: (i) the growth rings of *Cedrela* sp. they are annual, semi-porous, delimited by marginal parenchyma band; (ii) the estimated age of the trees varied between 61 and 205 years (1812 to 2017); (iii) the radial growth of *Cedrela* sp. it is influenced, in decreasing order, by the local climatological variables, mean air temperature, evapotranspiration, rainfall and; (iv) radial growth is also influenced by El Niño events. *Cedrela* sp. in the Óbidos microregion it is a species that is a marker of climate change.

Keywords: Dendrochronology, Amazon, growth rings, COFECHA, ARSTAN.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estudos dendrocronológicos com o gênero <i>Cedrela</i> (continua).....	19
Tabela 2. Classificação da intensidade dos eventos de El Niño (continua).....	31
Tabela 3. Classificação da intensidade dos eventos de La Niña.....	32
Tabela 4. Datação absoluta das amostras de <i>Cedrela</i> sp.	36
Tabela 5. Estatísticas descritivas das séries cronológicas da <i>Cedrela</i> sp.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Descrição anatômica macroscópica da <i>Cedrela</i> sp.	10
Quadro 2. Identificação das amostras – Fazenda Elizabete	68
Quadro 3. Identificação das amostras – Fazenda Afelândia	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição das Florestas tropicais no globo terrestre.	3
Figura 2. Mapa de ocorrência das árvores de <i>C. odorata</i> L.	8
Figura 3. Descrição botânica da <i>Cedrela fissilis</i>	9
Figura 4. Localização da área de estudo. A – Brasil, B – município de Óbidos-PA, C – Fazenda Elizabeth e D – Fazenda Afelândia.	21
Figura 5. Médias anuais de chuva (mm) e temperatura (°C) para uma série de 46 anos (1971 - 2017) da microrregião de Óbidos-PA.	22
Figura 6. Seleção de indivíduos da <i>Cedrela</i> sp. no pátio de toras da empresa madeireira.	23
Figura 7. Esquema ilustrando a coleta dos discos, enfatizando a base do primeiro torete.	23
Figura 8. Coleta dos discos da <i>Cedrela</i> sp. mostrando a seleção do material. (A e B) e retirada de disco da base do primeiro torete (C e D).	24
Figura 9. Preparo dos discos da <i>Cedrela</i> sp.	25
Figura 10. Esquema ilustrando como é feita a marcação dos raios (R1, R2 e R3) e atribuição da datação absoluta dos anéis de crescimento.	26
Figura 11. Marcação dos raios e atribuição da datação absoluta dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp.	26
Figura 12. Camadas de crescimento da <i>Cedrela</i> sp.	27
Figura 13. Obtenção das imagens escaneadas dos raios dos discos da <i>Cedrela</i> sp.	27
Figura 14. Mensuração dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp. utilizando o software Image-Pro Plus 4.5.	28
Figura 15. Corte transversal da <i>Cedrela</i> sp. com anéis de crescimento delimitados pela faixa de parênquima marginal.	34
Figura 16. Anéis de crescimento íntegros (A) e anéis de crescimento falso e/ou descontínuos (B).	35
Figura 17. Mensurações radiais dos anéis de crescimento dos discos (D) da <i>Cedrela</i> sp.	37
Figura 18. Cronologia padrão - índice de crescimento dos anéis da <i>Cedrela</i> sp., e o número de amostras utilizadas em cada segmento da cronologia (período de 1812 – 2017).	39
Figura 19. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp. e a precipitação pluviométrica (mm)	40
Figura 20. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp. e a temperatura média do ar (°C).	42

Figura 21. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp. e a nebulosidade (décimos)	43
Figura 22. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp. e a evapotranspiração potencial (mm).....	44
Figura 23. Correlação climática entre cronologia master da <i>Cedrela</i> sp. e a ocorrência dos eventos do El Niño (1950 – 2017).	45
Figura 24. Relação direta entre a cronologia master da <i>Cedrela</i> sp. e a ocorrência dos eventos do ENOS.	46

LISTA DE ABREVIACÕES

AT	Atlântico Tropical
ATN	Atlântico Tropical Norte
CGA	Circulao Geral da Atmosfera
CITES	Conveno sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Ameaçadas de Extino
CNCFlora	Centro Nacional de Conservao da Flora
ENOS	El Niño Oscilao Sul
FAO	Organizao das Nações Unidas para Alimentao e a Agricultura
FAPESPA	Fundao Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
IAWA	Associao Internacional de Anatomistas da Madeira
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOAA	Administrao Ocenica e Atmosférica Nacional
SEMAS – PA	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Par
TSM	Temperatura da superfície do mar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Floresta Amazônica	3
2.2 O Gênero <i>Cedrela</i>	6
2.2.1 Descrição botânica da <i>Cedrela</i> sp.	8
2.2.2 Características anatômicas da <i>Cedrela</i> sp.	10
2.3 Anéis de Crescimento das Espécies Arbóreas	10
2.4 Dendrocronologia	14
2.5 Potencial Dendrocronológico para o Gênero <i>Cedrela</i> sp.	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Localização da Área de Estudo	20
3.2 Clima e Solo	21
3.3 Coleta das Amostras dos Discos da <i>Cedrela</i> sp.	22
3.4 Preparo das amostras da <i>Cedrela</i> sp.	24
3.5 Análises Dendrocronológicas da <i>Cedrela</i> sp.	25
3.5.1 Caracterização e mensuração da largura dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp.	25
3.5.2 Sincronização das séries cronológicas da <i>Cedrela</i> sp.	29
3.6 Dados Meteorológicos	31
3.7 Correlações entre a Dendrocronologia da <i>Cedrela</i> sp. e as Variáveis Climáticas Locais	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1. Dendrocronologia da <i>Cedrela</i> sp.	33
4.1.1 Caracterização e mensuração dos anéis de crescimento da <i>Cedrela</i> sp.	33
4.1.2 Sincronização das séries cronológicas da <i>Cedrela</i> sp.	35
4.1.3 Padronização das séries cronológicas da <i>Cedrela</i> sp.	39

4.2 Correlações entre a dendrocronologia da <i>Cedrela</i> sp. e as variáveis climáticas locais..	39
4.2.1 Precipitação pluviométrica	40
4.2.2 Temperatura média	41
4.2.3 Nebulosidade	42
4.2.4 Evapotranspiração potencial.....	43
4.3 Correlações entre a dendrocronologia da <i>Cedrela</i> sp. e as ocorrências dos eventos do El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	45
5 CONCLUSÕES.....	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICES	59
A - Padronização das medidas radiais (ARSTAN)	59
B – Estatística descritiva (COFECHA)	62
C – Cronologias Standard, Residul e Arstan	65
ANEXOS	67
A – Balanço Hídrico do solo para o município de Óbidos-PA	67
B - Identificação das amostras/ PMFS	68

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é um componente-chave do clima global. Suas condições climáticas, em escala local e global, apresentam estreita relação entre o clima e o uso da terra. Um dos aspectos mais notáveis e emblemáticos do comportamento climático desta região é a ocorrência de períodos de secas, que acometem, de forma acentuada, microrregiões distintas, distribuídas ao longo do bioma. Esses eventos de secas, cuja frequência e intensidade têm previsão de aumentar (IPCC, 2015), de certo, ocasionarão alterações na dinâmica da vegetação florestal.

As formações vegetais predominantes do bioma Amazônia são as florestas tropicais, segundo a classificação fitogeográfica geral. No entanto, a floresta propriamente dita, não é uniforme e observam-se três tipos de vegetação distintas: matas de igapó, matas de várzea e matas de terra firme (ROQUETTE et al., 2019). Essa diversidade de ambientes tem o clima e o uso da terra como fatores impulsionadores do seu funcionamento.

Os três tipos de vegetação apresentam estratégias distintas de sobrevivência e crescimento, que perpassam pelo processo de seleção natural e tornam certas espécies aptas a ocupar um determinado lugar, em razão do clima e de fatores ambientais, outrora estabelecidos. Nas árvores esses fatores são expressos de forma pronunciada pela fenologia da espécie, de forma que, os fenômenos cíclicos impulsionam as diferentes fenofases.

A alteração desses fenômenos cíclicos pode ocasionar modificações do ciclo natural e conseqüentemente, alterar os processos biogeoquímicos, causando perturbação ao sistema. Estas alterações podem ser registradas nos organismos que vivem naquele ambiente. Alguns organismos têm a capacidade de registrar essas alterações em suas estruturas anatômicas, por exemplo, nos anéis de crescimento, que são marcações estruturais presentes tanto em animais como em vegetais.

Devido aos fatores ambientais e/ou genéticos, os anéis de crescimento das espécies arbóreas podem apresentar ritmos de crescimento distintos para cada momento da vida. Sua largura diminui com a idade cambial, com o aumento da altura em troncos jovens e com a redução do crescimento apical. No entanto, tendem a estabilização com o avançar da idade, mas preservam suas características anatômicas. Para as espécies arbóreas tropicais, condições como altitude elevada, variação na precipitação, fotoperíodo, entre outras condições extremas podem induzir a redução ou dormência do câmbio vascular, resultando em formação dos anéis de crescimento no xilema secundário que pode ser interpretada como marcação característica daquele evento (TOMAZELLO FILHO et al., 2004).

Porém, nem todas essas espécies tropicais apresentam plasticidade fenotípica, nas estruturas que regulam o crescimento, capaz de caracterizar periodicidade da atividade cambial com elementos anatômicos distintos em razão de um sinal correspondente às alterações comuns de uma variável que pode ser explicada por um fator causal.

A dendrocronologia analisa e interpreta o crescimento anual dos anéis de crescimento das árvores (crescimento radial), datando-os nos anos de sua formação e analisando sua interação com o ambiente. Assim, espécies que expressam essa capacidade podem ser utilizadas como marcadoras naturais das mudanças do clima.

O gênero *Cedrela*, da família botânica Meliaceae, conhecida popularmente como cedro, apresenta um grande potencial como espécie sensível às variações climáticas. Pesquisas na Amazônia, demonstram anualidade na formação de seus anéis de crescimento (LOBÃO, 2011; SOUZA, 2019). Essa característica pode variar com o ambiente e a carga genética da espécie, a depender da sua sensibilidade ou complacência.

A microrregião de Óbidos-PA apresenta um clima classificado como Tropical de Monções (Köppen Amw), sendo mais seco do que as demais áreas a leste e a oeste da mesorregião do Baixo Amazonas e, sofre influência direta dos eventos de El Niño Oscilação Sul-ENOS (SANTOS et al., 2014). Possivelmente, tal particularidade climática, ocasiona comportamentos fisiológicos distintos dos já observados em outras regiões, nas espécies que compõem sua fauna e flora. No caso da espécie arbórea *Cedrela* sp., não existem estudos realizados nessa microrregião que analisem o crescimento radial e o clima.

A hipótese do estudo é que o crescimento radial da espécie arbórea *Cedrela* sp. é influenciado pela variação do clima, tanto em escala local como global, podendo ser utilizada como marcadora da mudança do clima. O objetivo geral é analisar a influência das variáveis climáticas locais e globais no crescimento radial da espécie *Cedrela* sp. da microrregião de Óbidos-PA. Visa-se recomendá-la como espécie marcadora da mudança do clima. Os objetivos específicos são: (i) verificar a formação das camadas de crescimento dos indivíduos da *Cedrela* sp., (ii) determinar a anualidade, com posterior definição da idade pela contagem das camadas de crescimento do xilema secundário dos indivíduos da *Cedrela* sp., (iii) avaliar a influência dos elementos meteorológicos locais precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, nebulosidade e evapotranspiração potencial sobre o crescimento radial dos indivíduos da *Cedrela* sp. e; (iv) verificar o comportamento do crescimento radial dos indivíduos da *Cedrela* sp. em razão da ocorrência dos eventos do El Niño Oscilação Sul (ENOS).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Floresta Amazônica

As florestas tropicais são pequenos recortes de vegetação que cobrem volumosas áreas sobre o planeta Terra (Figura 1). Elas são responsáveis por dois terços de toda a biodiversidade do mundo, de forma que, todas as medidas de preservação do meio natural, transitam pela conservação e controle do desmatamento dessas unidades de vegetação (HENRIQUES, 2010).

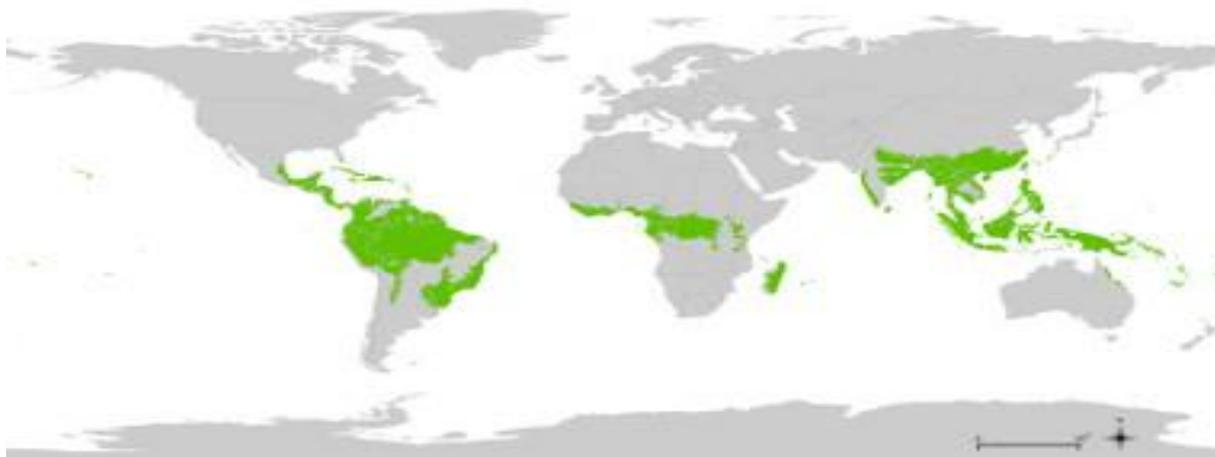


Figura 1. Distribuição das Florestas tropicais no globo terrestre.
Fonte: <https://welovegeography.pt/biomas-e-formacoes-vegetais>.

A Floresta Tropical Amazônica ocupa uma área de 7,8 milhões de km², se estendendo por território boliviano, brasileiro, colombiano, equatoriano, guianense, peruano, surinamês e venezuelano (além da Guiana Francesa). Nela vivem cerca de 33 milhões de pessoas, o que engloba uma diversidade socioambiental com mais de 370 povos indígenas (PENA FILHO, 2013). No Brasil, é o maior bioma brasileiro e está presente em nove estados: Amazonas, Acre, Amapá, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Maranhão, Pará e Tocantins (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2014; Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2019).

Suas formações vegetais predominantes são florestas, denominadas de florestas tropicais na classificação fitogeográfica geral, as quais são encontradas nas zonas de clima quente, úmido e de elevada precipitação pluvial, como nas regiões das Antilhas, África, Ásia, Insulíndia e Américas do Sul e Central (SOARES, 1953). No entanto, a floresta propriamente dita não é uniforme e conta com três tipos distintos de vegetação:

- a) matas de igapó que se localizam nas áreas baixas, próximas de rios, locais que estão constantemente inundados. Nelas, as árvores têm cerca de 20 metros de altura e estão adaptadas para viver em terrenos alagados;
- b) as matas de várzea, que ficam em terrenos um pouco mais elevados, no entanto, são inundados temporariamente, na época da cheia dos rios e,
- c) matas de terra firme que se estendem nas regiões mais elevadas e sempre secas. Compõem 80% da floresta. Nessas áreas as árvores apresentam-se com alturas médias de 30 metros, formando as florestas compactas cujo interior é úmido e com pouca luz (ROQUETTE et al., 2019).

A característica principal do clima amazônico é a convecção tropical, que é regulada por vários fenômenos de circulação atmosférica, principalmente, aqueles de grande escala, o que confere à região pelo menos três subclimas diferentes de acordo com a classificação de Köppen (Af: equatorial chuvoso; Am: monção tropical; Aw: tropical seco e úmido) (MOURA, 2014).

A estação chuvosa, que vai de novembro a junho, detém 70% da precipitação anual total e a estação seca, que vai de julho a novembro, apenas os 30% restantes (SATYAMURTY et al., 2013). Por sua extensão, a floresta tropical amazônica influencia o clima da América do Sul em grande escala, ao mesmo tempo em que é influenciada por ele (ALMEIDA, 2017).

Estudos de interação entre a Floresta Amazônica e as condições atmosféricas e climáticas, em escala regional e global, demonstram ligações entre o clima, o uso da terra e o funcionamento do bioma. A vegetação apresenta uma estreita relação com a atmosfera, controlando uma série de processos físico-químicos que influenciam a taxa de formação de nuvens, quantidade de núcleos de condensação de nuvens, quantidade de vapor de água, balanço de radiação atmosférica, emissão de gases biogênicos e de efeito estufa, entre outros fenômenos (DAVIDSON, et al. 2012). Os fenômenos atmosféricos de pequena e larga escala influenciam a variabilidade das grandezas meteorológicas que, por conseguinte, interferem diretamente no ambiente local (MARTHA JÚNIOR et al., 2011).

O El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico, de larga escala, que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica.

A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação (INPE, 2020)¹.

Esses fenômenos atmosféricos, influenciam a variabilidade das grandezas meteorológicas que, por conseguinte, interferem diretamente no ambiente (MARTHA JÚNIOR et al., 2011). No Brasil seus impactos são significativos, uma vez que ocasionam alterações no padrão da circulação atmosférica, causando secas extremas, elevação da temperatura e ocasionam chuvas torrenciais (SANTOS et al., 2019). Estudos com enfoque na variabilidade interanual da precipitação nas regiões norte e nordeste da América do Sul têm associado essa variabilidade aos fenômenos ENOS (NEGRÓN et al., 2010; REBOITA et al., 2010; MARENGO et al., 2011). Por exemplo, Coutinho et al (2018), estudando o comportamento do balanço hídrico na Bacia Amazônica, entre as regiões das calhas sul e norte da microrregião de Óbidos, para a evaporação, a partir de volume de chuva, obteve valores entre 58 e 62%, respectivamente. Além disso, em média a evaporação teve uma tendência positiva ao longo do período estudado mostrando que durante o El Niño essa taxa é maior na margem esquerda e menor na margem direita do Rio Amazonas.

Ronchail et al. (2005) analisaram a variabilidade temporal da vazão de 80 estações fluviométricas na bacia do Amazonas do Brasil, Bolívia e Guiana Francesa no período de 1981 a 2002 e constataram que durante os eventos de El Niño, a vazão fica abaixo do normal nos rios do noroeste (Rios Solimões, Alto Negro, e Jupurá) e da região mais ao sul (bacias do Alto Madeira, Tapajós e Xingu). Já para o período de La Niña a vazão fica acima do normal na bacia do nordeste e, em contrapartida, abaixo do normal na bacia do Madeira.

Santos et al. (2014) indicaram que durante os eventos de El Niño, de ocorrência moderada a variabilidade climática da precipitação na bacia amazônica tende a ser menor que a normal, enquanto durante um evento moderado de La Niña ocorre o inverso. O que pode ser bem visualizado no ano de 2015, e que representa uma das mais fortes influências históricas sobre o aumento da temperatura e redução do nível das chuvas na região amazônica. O que ocasionou alterações na dinâmica da floresta (MOURA et al., 2019).

Contudo, apenas uma fração da variabilidade da precipitação na Amazônia, pode ser explicada pelos ENOS, sendo a estação chuvosa a mais afetada (YOON e ZENG, 2010). Estes mesmos autores sugerem ainda que a influência do Atlântico Tropical (AT) e do Atlântico Tropical Norte (ATN) na variabilidade climática na região Amazônica pode ser comparável às mais conhecidas teleconexões com o ENOS do oceano Pacífico. Liebmann e Marengo 2001,

¹ <http://enos.cpteC.inpe.br/>. Acesso em 13 de outubro de 2020.

Marengo et al. 2008, Tejas et al., (2012), Nóbrega et al., (2014) e Silva et al., (2015) concordando com as pesquisas anteriores, adicionando a estes que as variações de precipitação da Amazônia também estão relacionadas às temperaturas da superfície do mar (TSM) no AT.

A cada momento, pesquisas mais robustas vêm sendo realizadas na região amazônica, para explicar, como as florestas respondem fisiologicamente às mudanças hidrológicas causadas pelos eventos extremos e suas consequências (cheias, secas, incêndios). A dendrocronologia é um método que consegue analisar o crescimento do xilema secundário de espécies arbóreas em função da variação climática (ROQUETTE et al, 2019). Pois, apesar do processo de seleção natural ser um fator intimamente ligado as características intrínsecas das espécies, esse processo pode acontecer por modificações abruptas da paisagem/ ambiente, tipo o desflorestamento desordenado que ocasiona mudanças da paisagem, perda de espécies com potenciais ainda não conhecidos que, por sua vez, impulsionam diretamente os eventos extremos de variações climáticas locais e globais (PHILLIPS et al., 2010).

2.2 O Gênero *Cedrela*

O gênero *Cedrela* pertence à família Meliaceae e compreende 7 espécies distribuídas em países da América Latina. No Brasil ocorrem naturalmente 3 espécies de *Cedrela*: (i) *C. odorata*, (ii) *C. fissilis* e (iii) *C. angustifolia* (OLIVEIRA et al., 2018). No bioma Amazônia seu domínio fitogeográfico está presente nas Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, com grande variedade de fitofisionomias, mas com o predomínio de Florestas de Igapó e Florestas de Terra-Firme (TER STEEGE et al., 2000).

Segundo Reitz (1984), as espécies do gênero *Cedrela* são heliófilas ou de luz difusa, sendo essa classificação condizente com sua posição nos estratos superiores na floresta, retratando sua grande necessidade de luz. O mesmo autor descreve sua localização tanto no interior de florestas primárias úmidas, como também com características de espécie pioneira, por serem encontradas nos capões dos campos do planalto, assim como na vegetação secundária, sobretudo em capoeirões (LORENZI, 2008).

As espécies são ainda caducifólias, com a desfolha nos meses de junho a agosto, coincidindo com o período de dispersão das sementes e, apresentam como característica morfológica a altura, de 20-30 m, e diâmetro do tronco, de até 150 cm. Suas folhas são compostas paripinadas de 25-65 cm de comprimento, com folíolos lanceolados em pares opostos ou subopostos (SANTOS et al., 2006). Possui inflorescência lateral ou subterminal,

com até 8 cm de comprimento, com flores unissexuais e fruto tipo cápsula oblonga com sementes aladas de até 4,5 cm de comprimento, incluindo as asas (PAIVA et al., 2007).

O brotamento das gemas vegetativas das árvores da *Cedrela* sp. relaciona-se com a temperatura e a precipitação dos dois meses anteriores ao evento de queda das folhas, enquanto a frutificação está normalmente relacionada com os fatores climáticos que ocorrem no mesmo período, concentrando-se na transição entre a época seca e a chuvosa (ANDRADE et al., 2009). Em vários trabalhos de observações fenológicas de árvores da *Cedrela* sp. foram verificados padrões de associação entre a frutificação e variáveis climáticas (NAVARRO, 2002).

A *C. odorata* L. é nativa da Amazônia e sua distribuição ocorre em locais de mata de terra firme e de várzea podendo ser encontrada do norte do México até o Brasil (Figura 2). Fatores como solo e clima colaboram para esta distribuição, sendo o clima um fator limitante para essa espécie (LORENZI, 2008; HANADA et al., 2005; BERRY et al., 2002). Esta espécie é uma das espécies madeireiras de maior valor comercial no mundo. Tendo sido excessivamente explorada ao longo de toda a sua área de distribuição há pelo menos dois séculos.

Devido ao seu status vulnerável e às preferências de habitat, a comunidade internacional de conservação solicitou mais proteção para *C. fissilis*, *C. lilloi* e *C. odorata*, e, essas espécies foram incluídas na lista de espécies prioritárias para conservação em 1981 (FAO, 1984) e foram listadas no Apêndice III da Convenção sobre Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas de Fauna e Flora Selvagens (CITES, 2015) (VILLANUEVA et al., 2016).

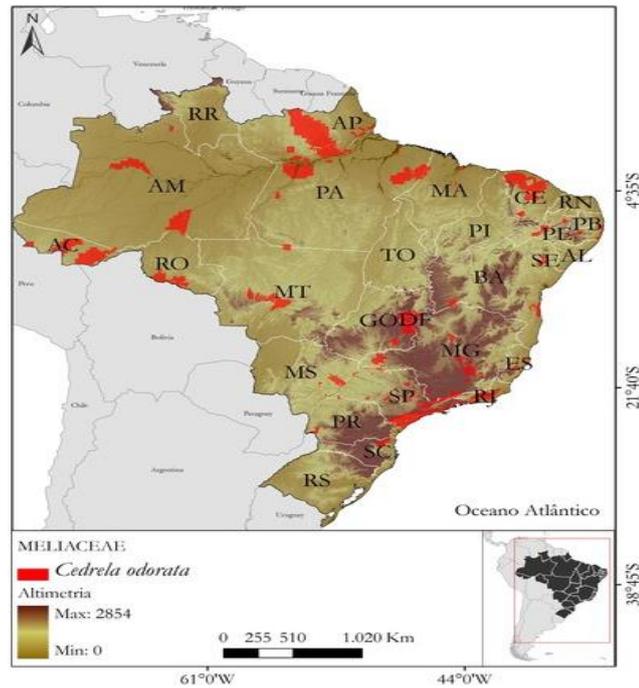


Figura 2. Mapa de ocorrência das árvores de *C. odorata* L.
 Fonte: Centro Nacional de Conservação da Flora.

2.2.1 Descrição botânica da *Cedrela* sp.

As árvores da *Cedrela* sp. apresentam gemas com catafilos e tricomas simples. Suas folhas são compostas, paripinadas, com gemas terminais mostrando crescimento intermitente ausente. Folíolos com ou sem pontuações e linhas translúcidas, inteiros. Inflorescências frequentemente terminais, menos frequente, ramifloras, determinadas, com ramificações de primeira e segunda ordem na região basal e mediana (Figura 3D).

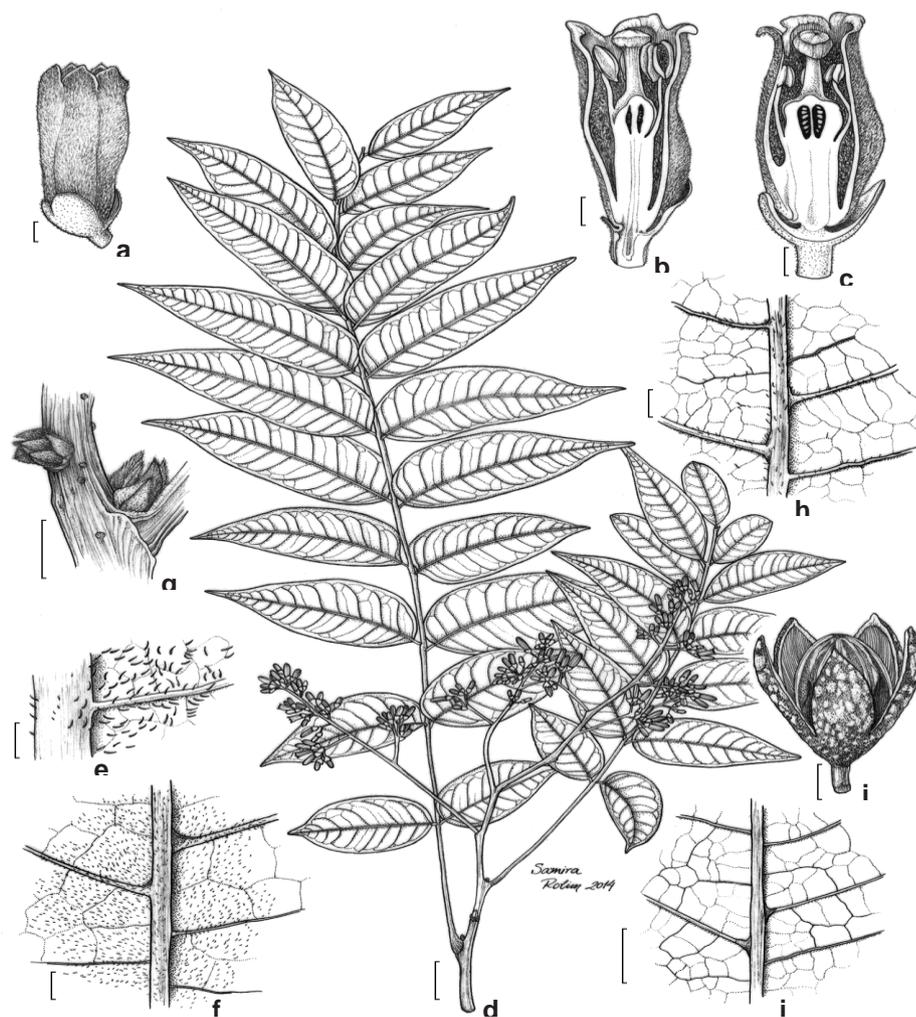


Figura 3. Descrição botânica da *Cedrela fissilis*. (a) vista externa da flor; (b) flor masculina em corte longitudinal; (c) flor feminina em corte longitudinal; (d) ramo florífero; (e) detalhe do indumento da face abaxial da lâmina; (f) indumento e domácias na face abaxial da lâmina. (g-j) *Cedrela odorata* – (g) detalhe das gemas recobertas por catafilos; (h) indumento na face abaxial da lâmina em um folíolo jovem; (i) fruto; (j) face abaxial da lâmina glabra em um folíolo maduro.

Fonte: Flores, 2017.

As flores são unissexuais, plantas monoicas. Com os cálices gamopétalos de 5 lobos regulares e levemente imbricados, ou largos e irregulares denteado, ou lobado com um dos lados fendido até próximo da base (Figura 3B e 3C). A corola apresenta-se com 5 pétalas, imbricadas, dialipétalas ou gamopétalas, unidas ao androginóforo colunar por uma membrana mediana na região do nectário (Figura 3A). Número de estames 5, livres entre si, mas com a parte basal dos filetes unidos a base do androginóforo colunar.

As anteras, também em 5, inseridas no ápice dos filetes. O androginóforo com a função de nectário rosado ou avermelhado, elevando o ovário. O ovário 5-locular e lóculos com 8–14

óvulos. As cápsulas são septífragas, eretas ou pêndulas, 5 valvas, e, lóculos com várias sementes (Figura 3. I).

As sementes quando secas são aladas, lateralmente comprimidas. A maioria das espécies de *Cedrela* ocorre exclusivamente na região neotropical e geralmente são árvores grandes com folhas decíduas. A distinção de *C. odorata* é realizada com base no indumento da face abaxial da lâmina e no tamanho dos frutos (Figura 3G e 3J), já o *C. fissilis* apresenta indumento densamente pubescente ou às vezes com tricomas concentrados nas nervuras (Figura 3E e 3F) e frutos com $5,5 - 9 \times 2 - 2,5$ cm (FLORES, 2017).

2.2.2 Características anatômicas da *Cedrela* sp.

A madeira da *Cedrela* sp. varia de leve a moderadamente pesada ($0,55 \text{ g/cm}^3$), com resistência natural em ambientes secos (Lobão, 2011). O cerne e alburno distintos. Cerne com coloração bege-rosado ao castanho-claro-rosado e alburno bege amarelado. O odor é característico e agradável. Gosto ligeiramente amargo, textura grossa, grã direita e brilho contrastado (LATORRACA et al., 2018).

Quadro 1. Descrição anatômica macroscópica da *Cedrela* sp.

Estruturas	Descrição anatômicas
Parênquima axial	Visível sem auxílio de lente 10x, em faixas marginais, paratraqueal vasicêntrico, escasso e aliforme losangular.
Raios	Visível sem o auxílio de lente (10x) nos planos transversal e longitudinal tangencial, sendo pouco contrastado no plano longitudinal radial, médios, pouco numerosos, não estratificados.
Poros / vasos	Visível sem o auxílio de lente (10x), médios a grandes, dispostos em anéis semiporosos, poucos, solitários, múltiplos radiais (2 a 3 vasos), obstruídos por óleo-resina e substância esbranquiçada.
Camadas de crescimento	Demarcadas pelas faixas de parênquima marginal e pelos anéis semiporosos.

Fonte: Latorraca et al. (2018).

2.3 Anéis de Crescimento das Espécies Arbóreas

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 (International Association of Wood Anatomists - IAWA COMMITTEE, 1989). Assim, tem-se que os anéis de crescimento são estruturas anatômicas do xilema secundário que, observadas em corte transversal, configuram círculos mais ou menos concêntricos e contínuos, ao redor da medula (OLIVEIRA, 2004). Dentre os grupos taxonômicos que podem formar anéis de crescimento, destacam-se as gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas.

Os anéis de crescimento são compostos pelo lenho inicial, lenho produzido durante o período de condições ambientais favoráveis e pelo lenho tardio, que delimita o anel de crescimento e que é formado durante o período em que o crescimento é restringido por algum fator ambiental limitante. As diferenças de tamanho do lume e espessamento das paredes das traqueídes definem o lenho tardio, no caso das gimnospermas, e as fibras, no caso das angiospermas. As angiospermas também podem ter anéis definidos por diferença no diâmetro e na disposição dos vasos, ou presença de parênquima axial marginal, características que podem aparecer conjuntamente. As estruturas que determinam a presença de anéis em uma dada espécie são constantes em todos os indivíduos da mesma espécie, porém, a sua conspicuidade pode variar em função do ambiente (SCHWEINGRUBER, 1996).

A partir da comprovação da anualidade de formação dos anéis de crescimento é possível a reconstrução dos períodos de desenvolvimento das árvores (TOMAZELLO FILHO et al., 2000). Existem diversas metodologias para a comprovação da anualidade dos anéis como por exemplo, datação por radiocarbono (MIRANDA, 2017), Janela de Mariaux (LOBÃO, 2011), relação com as variáveis climáticas (SOUZA, 2019), dentre outras. A comprovação da anualidade dos anéis de crescimento é necessária para a realização de estudos de dendrocronologia.

Os limites de um anel de crescimento podem ser identificados pelas seguintes características: (1) diferenças no diâmetro e distribuição dos vasos do lenho inicial e tardio; (2) ocorrência de fibras de paredes mais espessas e lúmens de menor diâmetro na madeira tardia; ou (3) existência de uma faixa marginal de parênquima axial (FERRERO, 2014). Podem ainda, estar indistintos ou ausentes na madeira, características essas que são altamente variáveis, e suas causas e formas de classificação não são consenso na comunidade científica (TARELKIN et al., 2016).

A largura do anel de crescimento é expressa em função de seis componentes básicos de uma equação, a saber: (1) a tendência de crescimento relacionada à idade no ano “*t*”, que é compartilhada entre espécies em um mesmo sítio; (2) as variações no crescimento relacionadas

ao clima, comuns a um grupo de árvores no ano “t”, incluindo a persistência que essas variações significam devido ao pré-condicionamento fisiológico e à interação do clima com outros fatores do sítio; (3) os pulsos de distúrbios endógenos originados da competição, da mudança da estatura da árvore e de outras forças atuantes em árvores específicas durante o ano “t”; (4) os pulsos de distúrbios exógenos originados por forças de fora da comunidade florestal, tais como geadas, incêndios ou infestações de insetos, durante o ano “t”; (5) as variações devido aos poluentes antropogênicos que tenham impacto no crescimento radial da árvore no ano “t”; e (6) as variações aleatórias nos fatores que influenciam o crescimento radial no ano “t” para uma árvore ou raio, incluindo erros na medição do anel de crescimento (FRITTS, 1989).

Os anéis de crescimento traduzem-se em uma marca identificável na madeira que demonstra mudança no crescimento da árvore com significativa importância para a compreensão da dinâmica florestal (CECCANTINI et al., 2008). Sua largura diminui com a idade cambial, com o aumento da altura em troncos jovens e com a redução do crescimento apical. Assim, conclui-se que existe uma tendência decrescente da largura do anel atrelada a fatores como o envelhecimento e mudanças na geometria do tronco (FRITTS, 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) apresentando anéis porosos, semiporosos ou difusos; (ii) fibras (tamanho e espessura da parede); (iii) bandas de parênquima marginal; e (iv) raios (distensão tangencial) (IAWA COMMITTEE, 1989; VETTER, 2000).

Ainda considerando as espécies tropicais, Tomazelle Filho (1999) afirma que condições como altitudes elevadas, precipitação e déficit hídrico, entre outras, induzem a redução ou até dormência do câmbio vascular, resultando na variação da largura/formação dos anéis de crescimento. Bem como, a periodicidade da atividade cambial vascular é influenciada por alterações na temperatura, fotoperíodo e precipitação (FAHN et al., 1981; WORBES, 2002).

A princípio, acreditava-se que em regiões tropicais e subtropicais, devido a menor sazonalidade climática e a aparente falta de uma condição limitante de crescimento, as árvores desses ambientes crescessem continuamente durante o ano, não formando anéis de crescimento anual (LIEBERMAN et al., 1985; ANDREACCI et al., 2014). Pesquisadores como Worbes (2002) contestaram essa hipótese, uma vez que, existe um número significativo de espécies tropicais e subtropicais, crescendo em diferentes condições, que apresentam sim, a formação dos anéis de crescimento anual.

Apesar de serem relativamente recentes e ainda fragmentados, os estudos relacionados à dinâmica de crescimento de espécies tropicais e subtropicais vêm elucidando o entendimento da formação dos anéis de crescimento nessas regiões (ANDREACCI, 2014). Este mesmo autor afirma que existe uma vasta lista de espécies arbóreas com reconhecida formação anual de anéis de crescimento, além do conhecimento de uma série de fatores responsáveis por essa formação de caráter anual. Pois, em biomas caracterizados por sazonalidade climática significativa, o câmbio vascular não é ativo ao longo do ano, bem como, a taxa e a duração de cada uma das etapas da xilogênese mostra dependência das condições ambientais (DE MICCO et al., 2019).

O contraste entre células formadas em cada estação do ano é frequentemente utilizado para delinear as fronteiras dos anéis de crescimento, que são formadas no xilema secundário de troncos e galhos (FRITTS, 1971). A teoria ambiental explica que as variações anatômicas intra-anelares são desencadeadas por restrições ambientais e, as diferentes fases da xilogênese são influenciadas por fatores distintos, que podem ser tanto fatores endógenos como exógenos (CUNY et al., 2016). Por exemplo, a fase de crescimento celular que é acionada por turgor, pode ser afetada diretamente pela disponibilidade de água; a fase de espessamento da parede celular pode ser, principalmente, dependente da disponibilidade de carboidratos, ou seja, todos os fatores que afetam a fotossíntese, incluindo a luz, o estado nutricional da planta, a disponibilidade de água em si e suas complexas interações, estão interrelacionadas (CUNY et al., 2015).

Mas são os fatores genéticos quem determinam a estrutura básica dos anéis das árvores (WIMMER, 2002; TAIZ & ZEIGER, 2017). No entanto, anos que apresentem condições desfavoráveis ao crescimento, o estímulo cambial, originário no ápice dos ramos, pode nunca atingir a base do caule, fazendo com que exista uma maior probabilidade da ocorrência de formação dos falsos anéis anuais de crescimento nas proximidades da copa do que em regiões na base do tronco (FRITTS, 1971). Espécies como as Araucárias, por exemplo, costumam apresentar muitos anéis falsos e/ou descontínuos (LORENSI, 2016). Essa má formação anelar está atrelada a distúrbios ambientais que interferem na atividade cambial da planta (Zanon, 2007). Os falsos anéis ocorrem como consequência de sucessivos períodos curtos de secas, de chuvas, ataques de insetos, entre outros, que podem levar a planta a interpretar como um novo ciclo de crescimento, mesmo que tenha sido durante o período de um ano (ENCINAS et al., 2005).

Os anéis falsos podem também ser formados logo em seguida a canais traumáticos originários de danos ocasionados ao tronco por incêndios florestais, anomalia climática,

estresse hídrico, ataque de insetos, ou outros fatores (DÜNISCH, 2003). Heinrich et al., 2013 observa que muitas vezes os anéis falsos podem ser caracterizados como verdadeiros, porém sem corresponder à camada de crescimento formada no final da estação de crescimento.

A observação de qual material está sendo estudado, segundo Tarelkin et al. (2016), é de primordial relevância, pois, os anéis anuais de crescimento variam dentro do indivíduo a depender do órgão considerado, sendo mais visíveis na madeira do tronco do que na dos galhos. Além disso, também podem ocorrer diferenças na visibilidade dos anéis quando árvores juvenis ou adultas são avaliadas (SOLIZ-GAMBOA et al., 2011).

Estudos com anéis de crescimento, em floresta do mediterrâneo, relataram que a anatomia do xilema é fortemente relacionada às condições ambientais ocorrida em alguns meses antes e durante a estação de crescimento (CASTAGNERI et al., 2018). Os autores chegaram a essa conclusão devido a identidade apresentada na composição isotópica de carbono dos anéis de crescimento das árvores estudadas que estava principalmente relacionada ao clima das estações anteriores. Assim, provavelmente o lenho inicial foi formado usando carbono recentemente e anteriormente assimilado, enquanto a formação do lenho tardio dependeu, principalmente, de carbono acumulado nos meses anteriores.

Apesar da importância, os fatores fisiológicos, genéticos e ambientais que influenciam a vida das células, bem como os seus efeitos combinados, estes ainda são mal compreendidos (BRÄKER, 2002). Fritts (1971) atribui essas incertezas as diferentes dimensões das camadas de crescimento e, a forma como elas variam entre as espécies. Assim, é difícil modelar as relações de interação entre os gradientes biológicos e as variáveis ambientais (FRITTS, 1979).

Consequentemente, tem-se que a relação entre os fatores que resultam no crescimento, dependente de restrições filogenéticas, da morfologia individual da árvore e da variabilidade climática, ou seja, o crescimento das árvores, é afetado por fatores intrínsecos a espécie e pelas condições climáticas e ambientais (FICHTLER, 2012).

2.4 Dendrocronologia

A dendrocronologia, do grego *dendron* (árvore), *kronos* (tempo) e *logos* (conhecimento), é a ciência que analisa e interpreta o crescimento anual dos anéis de árvores, ou seja, é a ciência que emprega os anéis de crescimento das árvores, datados nos anos exatos de suas formações, para identificar padrões ou processos temporais e/ou espaciais do crescimento e sua interação com o ambiente. Essa ciência tem sido usada para estudar numerosos tipos de fenômenos ambientais e sociais, desde chuvas na bacia amazônica até o

comércio histórico de madeira no norte da Europa (BRIENEN et al., 2010; BRIDGE, 2012).

O astrônomo americano Andrew E. Douglass é conhecido como o pai da dendrocronologia. No início do século 20 ele observou a relação entre os ciclos de atividades solares, o clima na Terra e a formação dos anéis de crescimento em árvores (FRITTS, 1976).

Em 1911 Douglass identificou um padrão de anéis largos e estreitos em árvores de dois locais distintos, o que possibilitou as duas maiores implicações de sua descoberta: (i) a datação cruzada poderia ser usada como uma ferramenta cronológica para identificar o exato ano do calendário em que os anéis foram formados; (ii) os padrões de largura de anel por si próprios representam um registro das condições ambientais em uma região, pois embora parte da variação da largura do anel seja atribuível às condições locais dentro e ao redor dos *habitats* das árvores, uma grande parte da variação pode ser observável em todas as árvores e, portanto, reflete fatores que ocorrem em toda a região, como as variações anuais no clima (FRITTS, 1976).

Desse modo, um dos princípios básicos da dendrocronologia estabelece que, árvores crescendo em condições ambientais similares, devem mostrar características de similaridade no crescimento, ou seja, uma semelhança no padrão de anéis largos e estreitos (STOKES & SMILEY, 1968). Fritts (1976) cita também outros princípios e conceitos nos quais estudos dendrocronológicos devem basear-se, vejamos:

a) Princípio uniformitarista: indica que os processos físicos e biológicos que influenciam o crescimento de uma árvore na atualidade, também estavam presentes no passado (MCCARTHY, 1998).

b) Princípio dos fatores limitantes: o crescimento dos anéis de uma árvore é principalmente influenciado pelo fator ambiental mais limitante, por exemplo, a precipitação em regiões secas, ou ainda a temperatura em maiores latitudes. Os mesmos fatores podem limitar de alguma forma todos os anos, mas o grau e duração de seus efeitos limitantes variam de um ano para o outro. Se um fator muda, de tal forma que não é mais limitante, a taxa de crescimento da planta irá aumentar até que outro fator se torne limitante (MATTOS et al., 2011).

O princípio dos fatores limitantes é de grande importância para a dendrocronologia, uma vez que permite a identificação da largura dos anéis por datação cruzada (FRITTS, 1976). O grau de relevância desses fatores pode variar de acordo com a região. Por exemplo, no Alasca é a temperatura, já no Peru o fator restritivo seria a chuva (LOPEZ et al., 2005). Para Rodriguez (2008) na América do Sul, o fator limitante é também a precipitação pluviométrica.

c) Princípio da sensibilidade: quanto mais uma árvore tiver sido limitada por fatores ambientais,

mais esta exibirá variação na largura de anel para anel. Sensibilidade, em dendrocronologia, refere-se à variabilidade na largura do anel e complacência a falta dessa variabilidade (MATTOS et al., 2011).

As flutuações nas larguras dos anéis podem ser expressas como uma estatística chamada sensibilidade média. Esta é uma medida das diferenças relativas da largura entre anéis adjacentes, ou seja, refere-se à variação percentual média de cada valor de anel medido para o próximo.

d) Princípio da datação cruzada (*crossdating*): é o princípio básico da dendrocronologia e consiste em assegurar a cada anel o ano exato da sua formação (MARTÍNEZ, 1996) por meio de um processo de "superposição" da variação da largura e outras características estruturais dos anéis de crescimento (KHAM, 1997).

O *crossdating* pode ser realizado por meio da aplicação de diversos métodos, quais sejam: método clássico (diretamente da madeira), gráfico, lista ou tabulados, *crossdating* (por meio da medição da largura dos anéis) computadores/ programas estatísticos (MCCARTHY, 1998).

e) Princípio de replicação: este princípio indica que se deve coletar mais que uma mostra do raio por árvore e mais de uma árvore por sítio. Assim, permite-se a realização de comparações estatísticas de variabilidade entre árvores e entre grupos de árvores mais precisas (MATTOS et al., 2011). As medições desta variação proporcionam informações valiosas, como por exemplo, os fatores climáticos que controlam o crescimento da árvore (FRITTS, 1976).

f) Princípio da padronização: padronização consiste na extração das variações de longo período em uma série temporária de parâmetros medidos nos anéis de crescimento. O processo consiste em dividir os valores observados (medidas dos anéis) pelos valores calculados através da função de standardização ajustada.

Nos estudos de variação da largura dos anéis de crescimento em relação a mudanças climáticas, é conveniente estimar a taxa de mudanças sistemáticas de anéis largos, associá-los com a idade, para então "removê-los" das medições. Esta correção da largura do anel com relação à idade e geometria da árvore é conhecida com o nome de standardização e os valores transformados recebem o nome de índice de largura do anel (FRITTS, 1976). Desse modo, uma série temporal da largura dos anéis se converte em uma série de índices da largura do mesmo (KAENNEL & SCHWEINGRUBER, 1995).

A largura dos anéis pode variar não apenas com as flutuações nas condições ambientais, mas também com mudanças sistemáticas na idade das árvores, altura ao longo do tronco,

condições e produtividade de um local (FRITTS, 1976). Por esse motivo, a padronização é um procedimento importante na dendrocronologia. Principalmente, quando o objetivo é estudar a variabilidade da largura do anel associada a um determinado fator do ambiente (CUNY et al., 2016).

Nesse contexto, tem-se que a dendrocronologia é um método científico reconhecidamente importante para detectar as mudanças ambientais e climáticas ocorridas em épocas passadas, despertando o interesse na sua aplicação para estudos dendroecológicos e dendroclimatológicos voltados à produtividade florestal, reconstrução da variabilidade climática, evolução do incremento do CO₂, poluição e diversos outros atributos que influenciam no crescimento das árvores e impactam o ambiente (ROIG, 2000).

No entanto, o sucesso na detecção dos sinais climáticos pela análise dos anéis de crescimento depende do nível de influência destas variáveis no ritmo de crescimento radial da árvore e da alteração resultante na estrutura anatômica do lenho. Pois, o início da divisão celular cambial é controlado, principalmente, pela temperatura e fotoperíodo (DELPIERRE et al., 2019). Deste modo, controle exercido pela temperatura na dormência cambial geralmente é interrompido não apenas quando a temperatura é muito baixa durante o inverno, como nas regiões temperadas, mas também quando da ocorrência de períodos de seca (DE MICCO et al., 2019).

A amostragem é um fator preponderante que requer especial atenção nos estudos dendrocronológicos. Em geral, o número médio de árvores utilizadas em estudos envolvendo cronologias é de 16 indivíduos (BRIFFA & JONES, 1990; SCHWEINGRUBER et al., 1996). Mas, cronologias contendo menos número de indivíduos, originárias de amostragem pelo método destrutivo, no qual o disco de madeira é avaliado por completo, tornam a análise mais precisa e robusta, mesmo com amostras menores. A utilização de discos para a construção das cronologias, facilita a identificação de anéis que não completam a circunferência do xilema secundário ou que apresentem alguma injúria (ESPER et al., 2001; EVERT, 2013). Assim, estudos dendrocronológicos com amostras provenientes de discos aumentam o valor da cronologia mestre e permite maior precisão nas datações, uma vez que facilita a identificação de anéis falsos, ausentes e outras anomalias da madeira (FONTANA et al., 2018).

Para Fichtler (2017) os métodos não destrutivos de amostragem não são indicados para a maioria das espécies de folhosas tropicais. Tendo em vista que, a identificação anatômica precisa do anel, requer uma superfície maior do que o possível pela análise de raio.

O número de árvores nas cronologias também depende dos objetivos da pesquisa e não pode ser estipulado genericamente (MÉRIAN et al., 2013). Contudo, Briffa et al. (1990) sugerem pelo menos 5 árvores (1 raio por árvore), mas eles enfatizam que quanto mais indivíduos, melhor. Schweingruber et al. (1996) recomendam pelo menos 10 indivíduos. Esper et al. (2001) também indicam 10 indivíduos, mas observam que, 20 árvores podem realçar facilmente os sinais climáticos locais.

Quanto ao número de raios, Fritts (1976) salienta que a redução de erros é mais dependente no número de árvores na amostra que o número de raios por árvore. No entanto, o autor pondera, por exemplo, 17 árvores com um raio por árvore reduz o erro padrão para 0,05 ou menos, enquanto para 12 árvores é necessário amostrar 4 raios por árvore para obter o mesmo resultado (Fritts, 1989). Assim, é preferível ter mais árvores do que o número maior de raios por árvore, pois quanto maior o número de indivíduos amostrados, melhor representada estará a espécie, mas se houver poucas árvores no campo, é aconselhável amostragem de mais raios por árvore. Esta informação é relevante, considerando que nas regiões de floresta tropical a maioria das espécies são raras e a logística para a coleta é complexa, principalmente, quando se trabalha com métodos não destrutivos (HUBBELL, 2013).

2.5 Potencial Dendrocronológico para o Gênero *Cedrela* sp.

As árvores do gênero *Cedrela* apresentam grande potencial para a dendrocronologia devido: (i) a ampla diversidade ecológica em vários continentes; (ii) aos eventos fenológicos distintos; (iii) ao anel de crescimento de fácil distinção e comprovadamente anuais; (iv) à alta taxa de crescimento radial e em altura do tronco; (v) a facilidade de extração de amostras do lenho, de densidade média, com o uso do trado de *Pressler* e (vi) disponibilidade de informações sobre a taxonomia, dendrologia, silvicultura, propriedades da madeira, bem como, da fenologia, atividade do câmbio (TOMAZELLO FILHO et al., 2004).

Villanueva et al. (2016) trabalhando em áreas de florestas bolivianas, utilizaram métodos dendrocronológicos para analisar as relações crescimento-precipitação de duas espécies da *C. o fissilis* e *angustifolia*. Nas florestas Bolivianas secas de Chiquitano e Boliviano Tucuman encontraram sensibilidade à precipitação de outubro a abril do ano corrente de crescimento (estação mais chuvosa) e às baixas temperaturas de maio a julho do ano corrente de crescimento (estação mais seca). Já nas áreas de Floresta Amazônica de transição de Chiquitano a sensibilidade à precipitação apresentou-se durante o final da estação chuvosa (março, abril e maio do ano corrente de crescimento) e às altas temperaturas durante os meses

chuvosos (novembro-dezembro). Diante destes resultados os autores concluíram que as diferenças de crescimento de cada espécie, em resposta às variações climáticas e condições locais, devem ser levadas em consideração, tratadas com diretrizes individualizadas para cada espécie dentro do manejo florestal e que o gênero *Cedrela* apresenta grande potencial dendrocronológico.

A aptidão desse gênero para estudos dendrocronológicos vem sendo demonstrada através de estudos dos parâmetros de intercorrelação e/ ou sensibilidade média (GRISSINO-MAYER, 2010). Sendo o primeiro o mais utilizado. O valor da intercorrelação varia de acordo com a análise empregada e é estabelecida pelo programa estatístico utilizado. A sensibilidade média quando se encontra em torno de 0,1, implica ser tão complacente que é difícil datar e, uma sensibilidade média maior que 0,4, diz ser tão sensível que se torna complicada explicar, devido a frequentes anéis micro ou ausentes ao lado de anéis muito largos (GRISSINO-MAYER, 2010; SPEER, 2009).

Os parâmetros de intercorrelação e sensibilidade média apresentados na Tabela 1 variaram entre 0,87 a 0,331 e 0,771 a 0,270, respectivamente. Isso demonstra existir uma variabilidade genética abundante dentro do gênero *Cedrela*.

Tabela 1. Estudos dendrocronológicos com o gênero *Cedrela* (continua).

Espécie	Local	Idade da amostra (anos)	Intercorrelação	Sensibilidade e média	Referências
<i>C. odorata</i>	Bolívia (Amazônia Boliviana)	308	0,570	-	Brienen & Zuidema (2005)
<i>C. fissilis</i>	Rio Grande do Sul (florestas subtropicais montanas)	79	0,331	0,573	Rauber (2010)
<i>C. odorata</i>	Acre (pastagem, floresta e mata de borda)	84, 125, 84	0,613; 0,523; 0,540	-	Lobão (2011)
<i>C. odorata</i>	Peru (floresta tropical úmida peruana)	214	0,499	-	Guerovich (2011)

Tabela 1. Continuação.

<i>C. odorata</i>	Sergipe (3 fragmentos de floresta)	82, 98, 108	0,586; 0,532; 0,685	0,569; 0,695; 0,771	Anholetto Júnior (2013)
<i>C. odorata</i>	Peru (Floresta Central)	213	0,870	0,270	Espinoza et al. (2014)
<i>C. odorata</i>	Peru (Floresta Central)	122	0,419	0,359	Inga & Del Valle (2017)
<i>C. fissilis</i>	Minas Gerais (floresta nativa decídua)	64	0,679	0,658	Barbosa (2018)
<i>C. odorata</i>	Amazônia Equatorial	230	0,49	-	Granato-Souza et al. (2018)
<i>C. nebulosa</i>	Peru (Floresta Amazônica)	133	0,47	0,360	Layme-Huaman et al. (2018)
<i>C. odorata</i>	Estado do Pará (Floresta Amazônica)	217	0,367	0,460	Sousa (2019)

Todos os estudos concluíram que a boa identificação dos anéis crescimento, sua anualidade, a forte relação com a precipitação e/ ou temperatura, o amplo espectro de distribuição e a longevidade das árvores tornam promissores os estudos de dendrocronologia com o gênero *Cedrela* em florestas tropicais e subtropicais da América do Sul.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área de Estudo

A área está localizada no município de Óbidos, gleba Xiriri, pertencente à microrregião de Óbidos, estado do Pará (Figura 4). Tem como ponto de referência as coordenadas geográficas W 55°34'31,43" – S 01°30'43,82", que corresponde à sede das fazendas Elizabete² e

² Autorização para exploração florestal – AUTEF - N° 273207/2018 /Licença Ambiental Rural – LAR- de N° 13071/2018;

Afelândia,³. Em conjunto, as fazendas possuem uma área total de 2.661,2295 ha. Deste, um total de 1.181,9947 ha estão autorizados para a execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS.

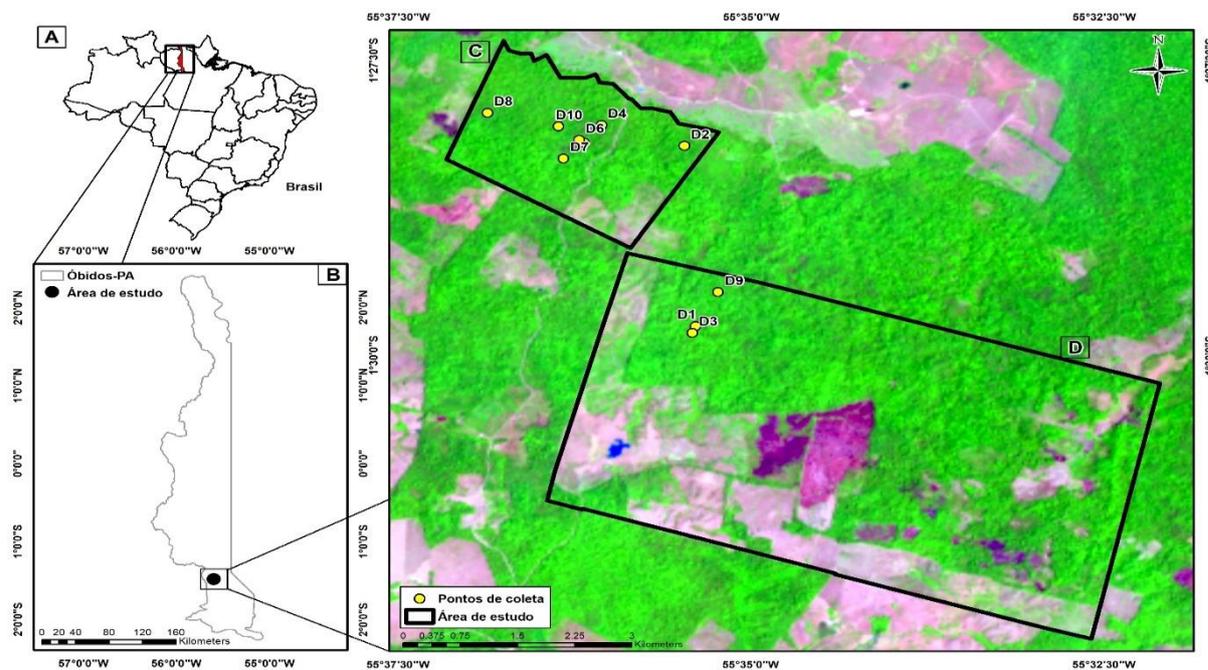


Figura 4. Localização da área de estudo. A – Brasil, B – município de Óbidos-PA, C – Fazenda Elizabeth e D – Fazenda Afelândia.

3.2 Clima e Solo

O clima na microrregião de Óbidos é classificado como Tropical de Monções, segundo Köppen (Amw), com duas estações climáticas bem definidas: chuvosa e seca. A estação chuvosa ocorre entre os meses de dezembro a junho e a seca de julho a novembro (Figura 5) (SANTOS et al., 2019). Os meses de junho e novembro são caracterizados como meses chuvosos e secos, respectivamente. No entanto, são meses de transição entre as estações.

A precipitação pluviométrica da região apresenta um valor médio para o total anual de 1.780,5 mm, com totais mensais inferiores a 50 mm, nos meses de setembro a novembro, e totais superiores a 200 mm nos meses de fevereiro a maio.

³ Autorização para exploração florestal – AUTEF - N° 273229/2018 /Licença Ambiental Rural – LAR- de N° 13071/2019.

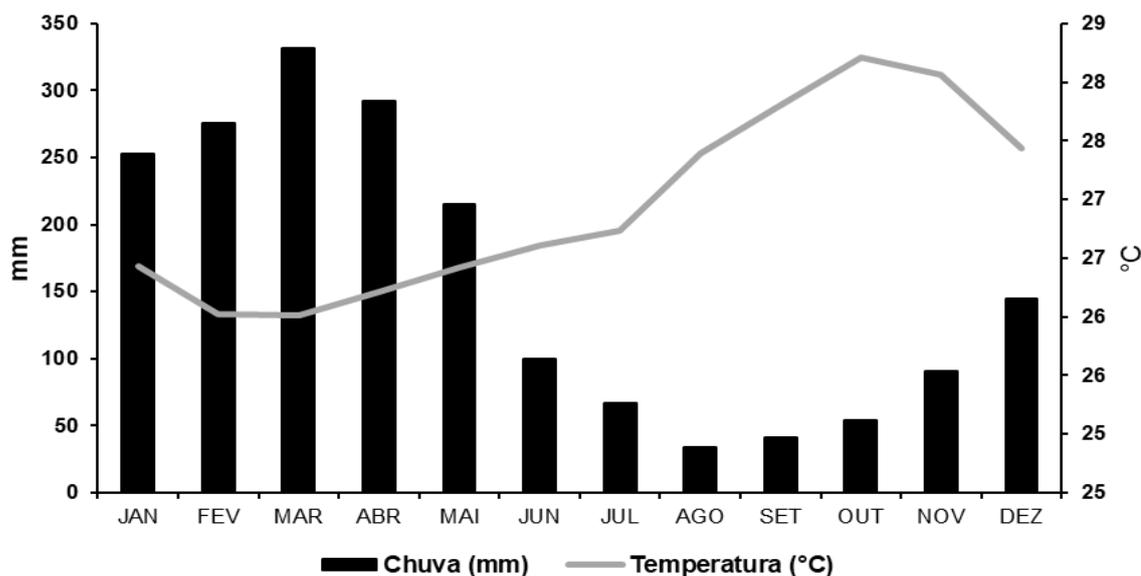


Figura 5. Médias anuais de chuva (mm) e temperatura (°C) para uma série de 46 anos (1971 - 2017) da microrregião de Óbidos-PA.

As temperaturas médias mínimas do ar ocorrem com maior frequência nos meses de fevereiro, março e abril, com destaque para o mês de fevereiro, por ser um mês com alto índice de precipitação pluviométrica na região e elevada nebulosidade, fatores que influenciam diretamente as temperaturas. As temperaturas do ar mais elevadas ocorrem, predominantemente, no mês de outubro, uma vez que, no final da estação seca as condições edafoclimáticas da região apresentam déficit hídrico intenso e baixa umidade relativa do ar, ou seja, menor quantidade de vapor d'água no ar (ANEXO A). Assim, a amplitude térmica da região é baixa, com temperaturas médias mensais que variam de 25,7 a 27,7°C; média das máximas variando entre 30,0 a 32,5°C e média das mínimas de 21,0 a 22,0°C (SILVA, 2014).

Nas áreas de coleta são verificados solos Argisolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa/muito argilosa (VALE JÚNIOR et al., 2011).

3.3 Coleta das Amostras dos Discos da *Cedrela* sp.

As amostras da *Cedrela* sp. são originárias de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), localizado no bioma Amazônia, área de floresta nativa (primeiro corte). A identificação da espécie (ANEXO B) foi fornecida pelo detentor do PMFS.

O abate dos indivíduos da *Cedrela* sp. foi realizado ano de 2018. A seleção e coleta das amostras dos troncos foi feita de forma aleatória nas fazendas Elizabete e Afelândia, também no ano de 2018.

Os discos das árvores da *Cedrela* sp. foram coletados de troncos abatidos que se encontravam no pátio de toras da empresa madeireira, prontas para a comercialização. Na oportunidade, 10 (dez) indivíduos distintos da *Cedrela* sp. foram selecionados.

Em seguida procedeu-se a condução do material para área destinada à retirada das amostras (discos) (Figura 6). Em cada um dos 10 (dez) indivíduos procedeu-se a retirada de 1 (um) disco da base do primeiro torete (Figura 7).



Figura 6. Seleção de indivíduos da *Cedrela* sp. no pátio de toras da empresa madeireira.

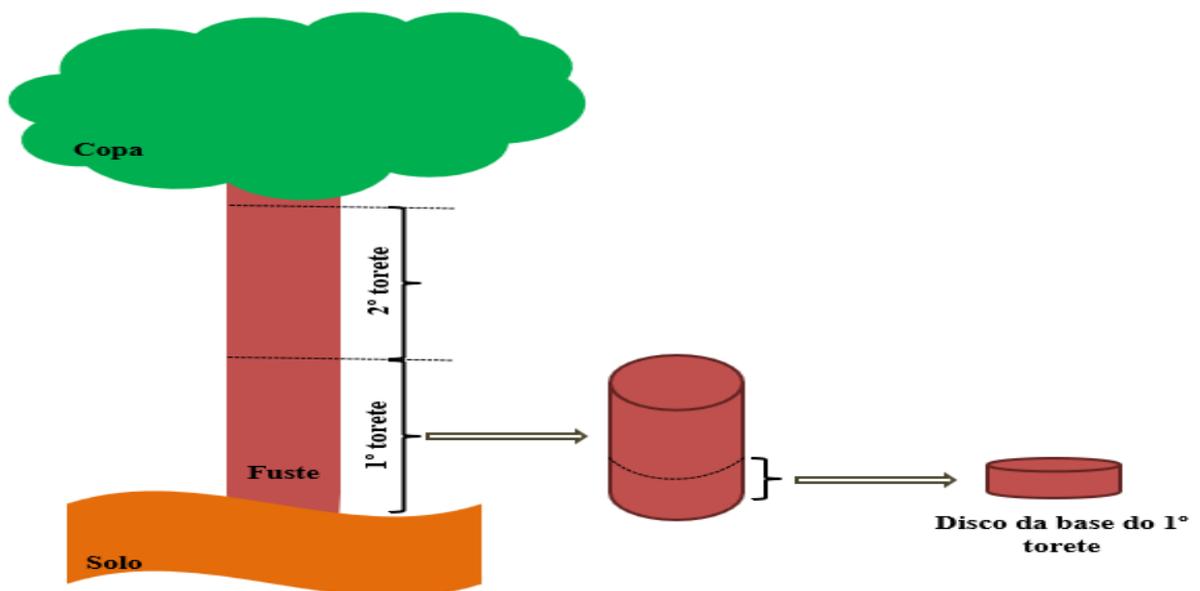


Figura 7. Esquema ilustrando a coleta dos discos, enfatizando a base do primeiro torete.

A execução do trabalho de retirada das amostras/discos da *Cedrela* sp. foi realizada por funcionários da empresa madeireira (tratoristas, operadores de motosserra, carregadores e colaboradores), seguindo todas as normas vigentes de segurança do trabalho (Figura 8).



Figura 8. Coleta dos discos da *Cedrela* sp. mostrando a seleção do material. (A e B) e retirada de disco da base do primeiro torete (C e D).

3.4 Preparo das amostras da *Cedrela* sp.

As amostras foram levadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Oeste do Pará (LTM/Ufopa) onde ficaram expostas ao ar por 8 dias. Em seguida, iniciou-se as etapas de polimento para tornar possível a observação e análises das estruturas dos anéis de crescimento.

Os discos da *Cedrela* sp. foram polidos no plano transversal com uma sequência de lixas de granulometria crescente (40-2000 grãos/mm²). Após cada lixa, foi aplicado jato de ar comprimido para a desobstrução dos vasos (Figura 9).



Figura 9. Preparo dos discos da *Cedrela* sp.

3.5 Análises Dendrocronológicas da *Cedrela* sp.

3.5.1 Caracterização e mensuração da largura dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp.

Inicialmente, os discos foram examinados manualmente, um a um, com o auxílio de uma lupa de aumento (10x), para identificar possíveis injúrias. Em seguida, com lápis, foram traçados raios, o mínimo de três por disco, que auxiliaram na contagem, na datação absoluta/ano calendário e mensuração dos anéis de crescimento (Figura 10). A datação absoluta é a atribuição do anel crescimento ao ano calendário. Como a coleta foi realizada em 2018, foi considerado o ano calendário de 2017 como último ano de crescimento completo dos anéis da

Cedrela sp.

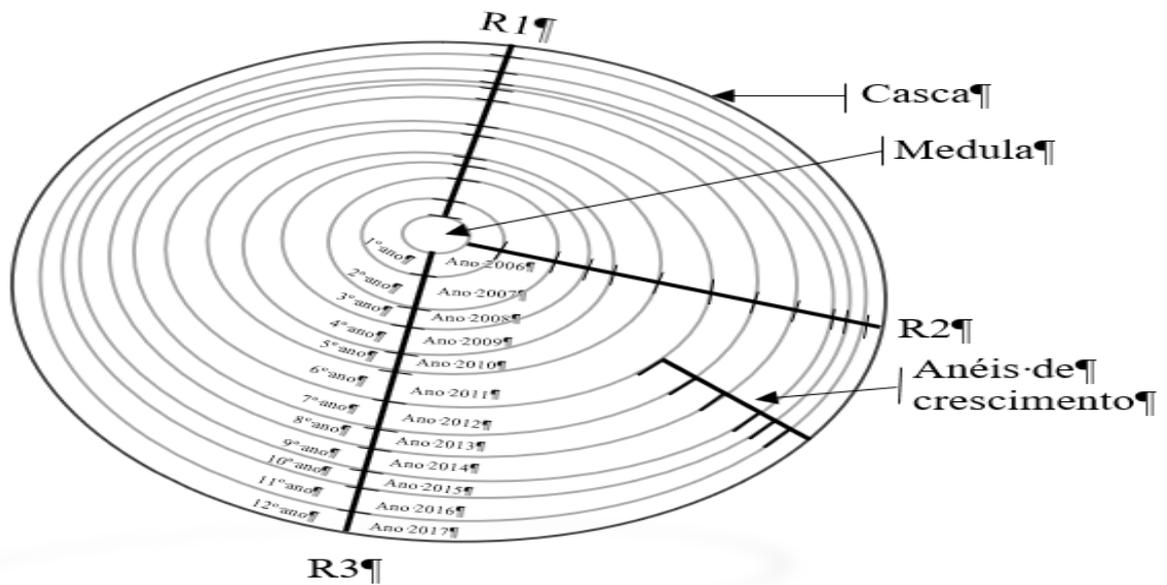


Figura 10. Esquema ilustrando como é feita a marcação dos raios (R1, R2 e R3) e atribuição da datação absoluta dos anéis de crescimento.

Ainda com o auxílio da lupa de aumento (10x) e tendo como guia os raios traçados nos discos, realizou-se a contagem manual dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp., no sentido casca – medula. O procedimento de contagem foi realizado nos três raios traçados em cada um dos dez discos (Figura 11 e 12).



Figura 11. Marcação dos raios e atribuição da datação absoluta dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp.

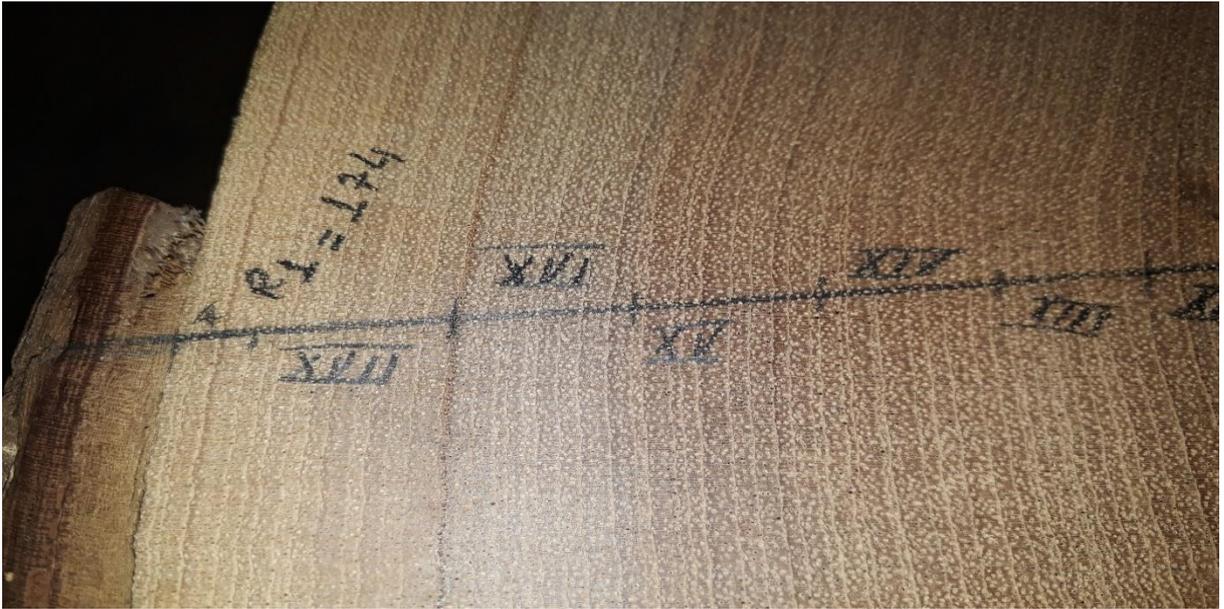


Figura 12. Camadas de crescimento da *Cedrela* sp.

Em seguida, os raios foram escaneados, individualmente, a uma resolução de 1200 dpi em scanner marca EPSON modelo V700 (Figura 13). Esse procedimento resultou em três imagens para cada um dos dez discos da *Cedrela* sp.



Figura 13. Obtenção das imagens escaneadas dos raios dos discos da *Cedrela* sp.

A partir das imagens escaneadas, procedeu-se a medição ou mensuração das larguras dos anéis de crescimento, dos três raios de cada um dos dez discos, no sentido casca medula

utilizando o software de análises de imagens Image-Pro 4.5, previamente calibrado com precisão de 0,001 mm (Figura 14).

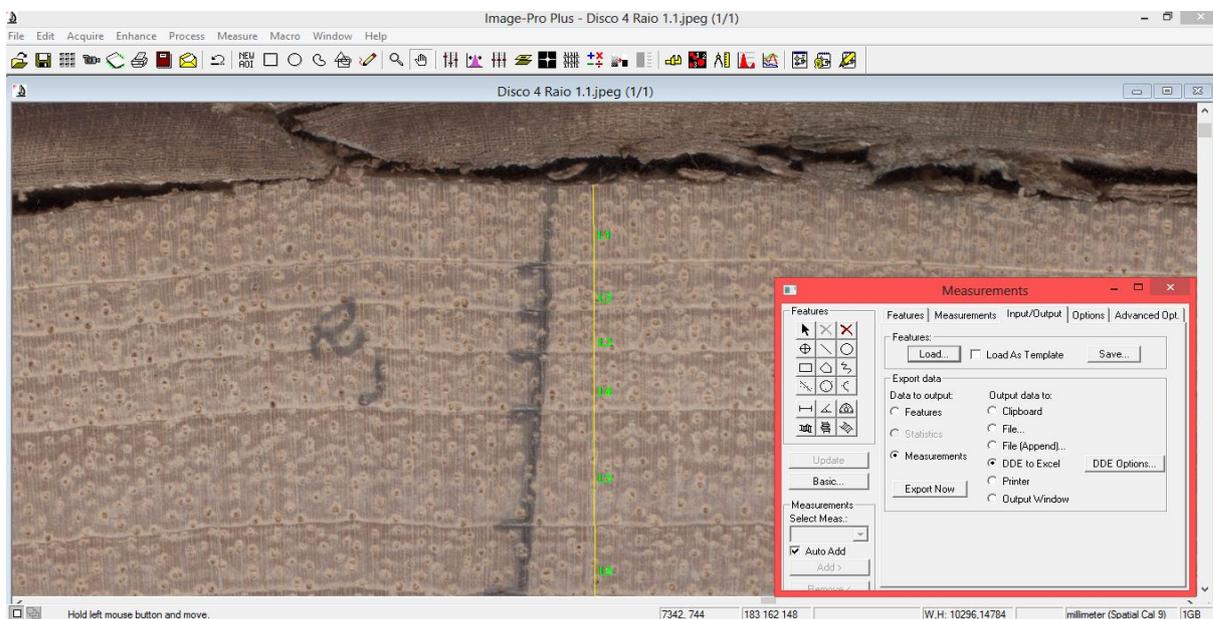


Figura 14. Mensuração dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. utilizando o software Image-Pro Plus 4.5.

Os dados das mensurações organizados e analisados previamente em planilha da Microsoft Excel. Posteriormente, calculou-se a média das três medições de cada um dos dez discos. O valor dessa média é denominado de série. Assim, tem-se que o valor médio das três medições das larguras dos anéis de crescimento de cada disco é igual a série do disco/amostra, vejamos:

- Série disco 1 (D1) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 2 (D2) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 3 (D3) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 4 (D4) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 5 (D5) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 6 (D6) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 +

- medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 7 (D7) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 8 (D8) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 9 (D9) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3);
- Série disco 10 (D10) = Média (medição 1º anel do raio 1 + medição 1º anel do raio 2 + medição 1º anel do raio 3).

Esse procedimento foi realizado para todos os anéis de crescimento dos discos mensurados.

3.5.2 Sincronização das séries cronológicas da *Cedrela sp.*

A avaliação da qualidade da datação cruzada (*crossdate*), a precisão da medição dos anéis (GRISSINO-MAYER, 2001) e a sincronização das medidas originais em índices dimensionais foi realizada pelo programa *Dating and measurement quality control - COFECHA*⁴. Este permitiu que as séries individuais de medidas das árvores, com diferentes taxas anuais de crescimento, pudessem ser agrupadas, em uma função média com o mínimo de desvio padrão e corrigindo a heterogeneidade da variância dos dados originais da largura dos anéis de crescimento. Assim, tem-se que o programa COFECHA realizou um controle de qualidade das medidas originais das larguras radiais dos anéis de crescimento, calculando uma série “*master*” (ou série mestra) a partir do conjunto da série de cada disco.

O programa COFECHA utiliza a estatística paramétrica quantitativa com o coeficiente de correlação de Pearson (*r*) e elabora ao final da análise vários produtos. Para esta pesquisa foram utilizados o coeficiente de intercorrelação e a sensibilidade média. O primeiro para verificar a existência de características comuns de crescimento, entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento analisadas, e o segundo para avaliar o comprometimento do crescimento advindo de fatores ambientais, pois, quanto mais uma árvore tiver sido limitada por fatores ambientais, maior será a variação na largura de seus anéis de crescimento.

Para esse processo de análise das séries (mensurações dos anéis de crescimento) foram estabelecidos o nível crítico para a correlação de Pearson de 0,328 (calculado de acordo com a

⁴ O programa COFECHA tem como princípio buscar a similaridade dos anéis de crescimento entre amostras, ele realiza um controle de qualidade sobre as medidas de largura de anéis de um conjunto de árvores, verificando a sincronização entre as mesmas para gerar uma série mestra (HOLMES, 1983).

análise escolhida no programa), com um nível de significância de $p < 0,01$ e o spline de suavização cúbica de 50% com corte de comprimento de onda para filtragem de até 32 anos.

3.5.3 Padronização das séries cronológicas da *Cedrela* sp.

O procedimento de padronização tem o objetivo de manter o máximo de sinal⁵ comum e o mínimo de ruído⁶. A padronização das cronologias dos indivíduos da *Cedrela* sp. foi realizada utilizando o programa ARSTAN40. A retirada de tendências foi realizada por funções exponenciais negativas e de regressão linear, aplicadas às séries padronizadas (APÊNDICE A). 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.

A partir desse procedimento, três variantes cronológicas, denominadas Standard, Residual e Arstan, são geradas pelo programa ARSTAN, para representar os índices da variação das larguras dos anéis de crescimento das séries temporais, livre de tendências provenientes da idade, dimensão, posição sociológica e do grau de perturbação de cada área, evidenciando somente as influências idiossincráticas do ambiente em que estes indivíduos estão inseridos (CHAGAS, 2009).

A cronologia Standard ou padrão é a única das três cronologias que não conta com nenhum procedimento adicional de modelagem autorregressiva, cujos parâmetros têm comportamento periódico (COOK, 1985), ou seja, remove grande parte da variância que não seja ocasionada por fatores climáticos (COOK et al., 1995).

As cronologias “Residual” e “Arstan” apresentam séries temporais que têm uma estrutura de autocorrelação, dependente não somente do intervalo de tempo entre as observações, mas também do período observado (MENEZES et al., 2014).

O programa ARSTAN trabalhou com um spline⁷ de 60%. Cook e Holms (1995) afirmaram que, com este programa são produzidas cronologias padronizadas, a partir das séries de anéis medidos, estimando-se índices anuais com base em valores médios, de modo a remover os efeitos dos ruídos e criando uma modelagem aprimorada para ressaltar sinais comuns.

⁵ Sinal é a porção da informação derivado dos anéis de crescimento que é relevante para estudar um problema particular. Ou seja, corresponde a variação comum de uma variável que pode ser explicada por um fator causal (FRITTS, 1976).

⁶ Ruído é a informação que é irrelevante ao problema estudado ou que parte da variação de sistema que não pode ser explicado pelo mesmo fator (FRITTS, 1976).

⁷ Spline pode ser explicado como o tamanho do intervalo de tempo considerado no processo de padronização ou estandardização (COOK e HOLMS, 1995).

3.6 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos de precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, e nebulosidade foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Óbidos-PA. Os dados de evapotranspiração potencial são da Estação Meteorológica Convencional do município de Belterra-PA, também do INMET. A série climatológica trabalhada corresponde a um período de 46 anos (1971 a 2017).

Os dados do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), foram obtidos na plataforma do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)⁸, correspondente a uma série de dados climatológicos de 67 anos (1950 a 2017).

Quanto a classificação da intensidade dos eventos dos El Niño e La Niña (Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente), seguiu-se a metodologia utilizada pelo Centro de Previsão do tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) que calcula os anos de ocorrência das anomalias através do método proposto por Trenberth (1997), onde a intensidade do El Niño pode ser considerada forte ($> 1,5^{\circ}\text{C}$), moderada ($> 1,0^{\circ}\text{C}$ e $< 1,5^{\circ}\text{C}$) ou fraca ($> 0,5^{\circ}\text{C}$ e $< 1,0^{\circ}\text{C}$).

Tabela 2. Classificação da intensidade dos eventos de El Niño (continua).

Ano do evento	Classificação
1951 – 1953	Fraco
1957 – 1959	Forte
1963 - 1963	Fraco
1965 – 1966	Moderado
1968 – 1970	Moderado
1973 – 1973	Forte
1976 – 1977	Forte
1977 – 1978	Fraco
1979 – 1980	Fraco
1982 - 1983	Forte
1986 – 1988	Moderado
1990 – 1993	Forte
1994 – 1995	Moderado

⁸ <https://www.noaa.gov/>.

Tabela 2. Continuação.

1997 – 1998	Forte
2002 – 2003	Moderado
2004 – 2005	Fraco
2006 – 2007	Fraco
2009 – 2010	Fraco
2015 – 2016	Forte

Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

Tabela 3. Classificação da intensidade dos eventos de La Niña.

Ano do evento	classificação
1949 – 1950	Forte
1954 – 1955	Fraco
1955 – 1956	Moderado
1970 – 1971	Fraca
1973 – 1974	Moderada
1975 – 1976	Moderada
1988 – 1989	Moderada
1998 – 1999	Fraca
2007 – 2008	Moderada
2010 – 2011	Moderada
2017 – 2018	Moderada

Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

3.7 Correlações entre a Dendrocronologia da *Cedrela* sp. e as Variáveis Climáticas Locais

Para verificar as possíveis influências climáticas nos padrões de formação dos anéis de crescimento, as cronologias (Standard, Residual e Arstan) obtidas com o programa ARSTAN, correspondente ao período de 46 anos (1971 a 2017), foram correlacionadas com as variáveis climáticas locais mensais de temperatura média do ar, precipitação pluviométrica, nebulosidade e evapotranspiração potencial, aplicando a correlação de Pearson.

As análises de correlação foram realizadas considerando uma escala de tempo, em meses, que caracterizou a influência do padrão climático local na dinâmica de crescimento das

espécies arbóreas. Assim, considerando o ano calendário, tem-se nos meses de novembro e dezembro, o início do período chuvoso local, aqui denominado de ano prévio (AP), janeiro a dezembro como sendo o ano corrente (AC) e os meses de janeiro a março, correspondente ao período de maior precipitação pluviométrica, para aquela microrregião, com sendo o ano posterior (APO). Desta forma contempla-se as fases de ativação e dormência do câmbio vascular.

Nessa etapa foi utilizada uma planilha no software Excel para calcular a correlação entre os índices de crescimento dos anéis da *Cedrela* (cronologias Standard, Residual e Arstan) e as variáveis climatológicas e, a confecção dos gráficos para análise visual dos resultados. O nível de significância do coeficiente de correlação calculado foi de 0,291 ($p < 0,05$).

Para verificar a influência da ocorrência dos eventos do ENOS no crescimento radial da *Cedrela* sp. foi utilizada a cronologia máster obtida pelo programa COFECHA, tendo em vista que está é uma função média com o mínimo de desvio padrão, onde somente foram corrigidas as heterogeneidades da variância dos dados originais das larguras dos anéis de crescimento.

Os dados dos eventos climáticos do ENOS foram analisados, considerando o intervalo de tempo de 67 anos (período de 1950 a 2017), com o pacote estatístico específico para análises dendrocronológicas o Dendrochronology Program Library (dplR) do software R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dendrocronologia da *Cedrela* sp.

4.1.1 Caracterização e mensuração dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp.

A análise macroscópica da madeira da *Cedrela* sp. permite afirmar que seus anéis de crescimento são distintos, visíveis a olho nu, demarcados por faixa de parênquima marginal e pela disposição dos vasos em anéis semiporosos. Os vasos variam de tamanho médio a grande, dispostos ao longo dos anéis semiporoso, poucos, solitários e múltiplos radiais (2 a 3 vasos). Quando obstruídos apresentam substância esbranquiçada, correspondente a óleo-resina (Figura 15). O material analisado apresentou descrição idêntica ao já realizado por Latorraca et al. (2018), Baker (2017) e Lobão (2011).

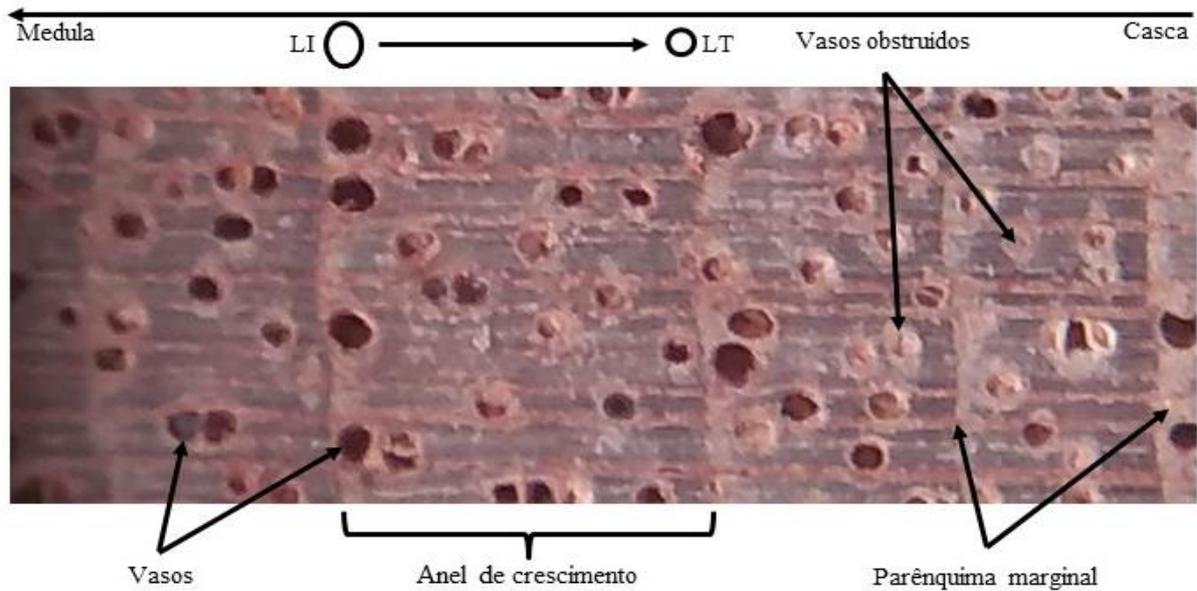


Figura 15. Corte transversal da *Cedrela* sp. com anéis de crescimento delimitados pela faixa de parênquima marginal.

Dos 10 (dez) discos avaliados, 3 apresentaram anéis de crescimento concêntricos, medula localizada no centro da peça (Figura 16A) e em 7 (sete) discos observam-se medula excêntrica, medula localizada em algum dos lados da peça, sendo 4 (quatro) de forma mais pronunciada.

Nos discos que se observou a excentricidade, também foram verificados anéis falsos e/ou descontínuos, ou seja, anéis que apresentaram descontinuidade da faixa de parênquima marginal ao longo do anel observado, ou com faixas de parênquima marginal entrelaçado (Figura 16B). Segundo Tsoumis (1969) os falsos anéis podem ser detectados em todas as espécies. Estes são formados em resposta a diferentes influências ambientais, que causam distúrbios intra-sazonais no crescimento, podendo ocorrer mais de um anel durante uma única estação de crescimento. Já os anéis descontínuos são, por definição, aqueles que não formam um círculo completo ao redor da medula. Isto pode ser decorrente de uma injúria local do câmbio ou pela inatividade do câmbio em virtude de falta de nutrição (DÜNISCH, 2003).

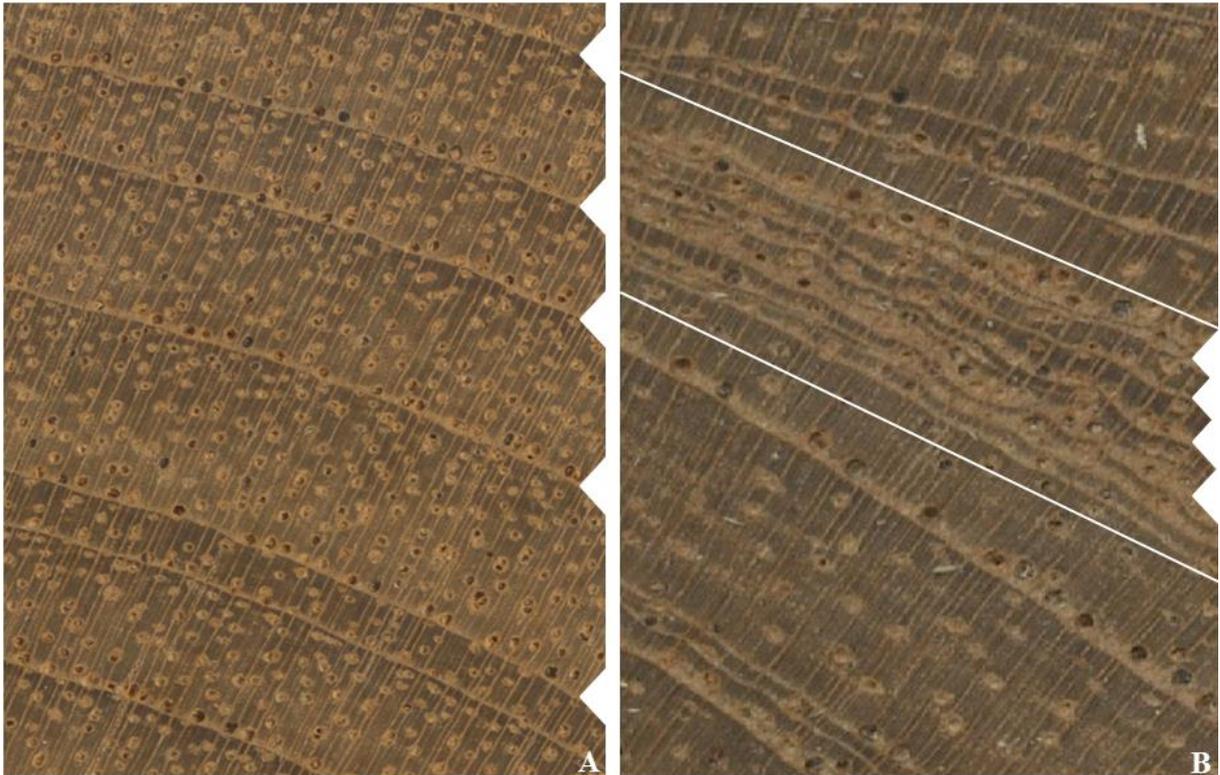


Figura 16. Anéis de crescimento íntegros (A) e anéis de crescimento falso e/ou descontínuos (B).

Em estudo realizado por Lobão (2011), na Floresta Amazônica brasileira, no estado do Acre, foi relatado que os anéis de crescimento de duas espécies do gênero *Cedrela* (*C. fissilis* e *C. odorata*) são anuais. No entanto, quando as espécies são submetidas a algum tipo de estresse, apresentam anéis falsos ou descontínuos. Atentando-se, exclusivamente, para os anéis falsos, em uma de suas descrições, o autor os descreve como sendo constituído por faixas muito delgadas de parênquima marginal, formando grupos de anéis entrelaçados, quase indistintos.

4.1.2 Sincronização das séries cronológicas da *Cedrela* sp.

O abate dos indivíduos da *Cedrela* sp., utilizados nesta pesquisa, e a coleta de seus discos foi realizado no ano de 2018. Para tanto, considerou-se o último anel de crescimento completamente formado, com a datação absoluta correspondente ao ano de 2017.

Com a contagem iniciada na parte mais externa do disco, sentido casca - medula, procedeu-se a datação absoluta. Na datação absoluta atribui-se a cada anel de crescimento o ano calendário, o que proporcionou uma datação corresponde ao período de 1812 a 2017. Atribuindo-se ao indivíduo mais longevo a idades de até 205 anos e para o indivíduo para o mais jovem, 61 anos (Tabela 4).

Tabela 4. Datação absoluta das amostras da *Cedrela* sp.

Disco	Datação absoluta (anos)															Ano 1	Nº de anéis							
	1810										1900										2000			
D1																						1844	173	
D2																							1908	109
D3																							1914	103
D4																							1904	113
D5																							1941	76
D6																							1904	113
D7																							1812	205
D8																							1956	61
D9																							1911	106
D10																							1853	164

* Espaços pintados na cor cinza indicam o número de anéis contados em cada indivíduo (datação absoluta).

As observações iniciais nas mensurações radiais dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. foram realizadas com gráficos produzidos no programa Excel, do pacote Office do Windows (Figura 17).

A apresentação das mensurações na Figura 17 permitiu a visualização da distribuição temporal das amostras, bem como, uma observação grosseira da variação no crescimento da espécie, entre os diferentes discos avaliados, o que é explicado pela sua origem, indivíduos oriundos de floresta nativa de primeiro corte, e pela variação intraespecífica de crescimento diamétrico, que está relacionada ao estágio ontogenético, a posição e a disponibilidade de luz (CLARK e CLARK, 1992).

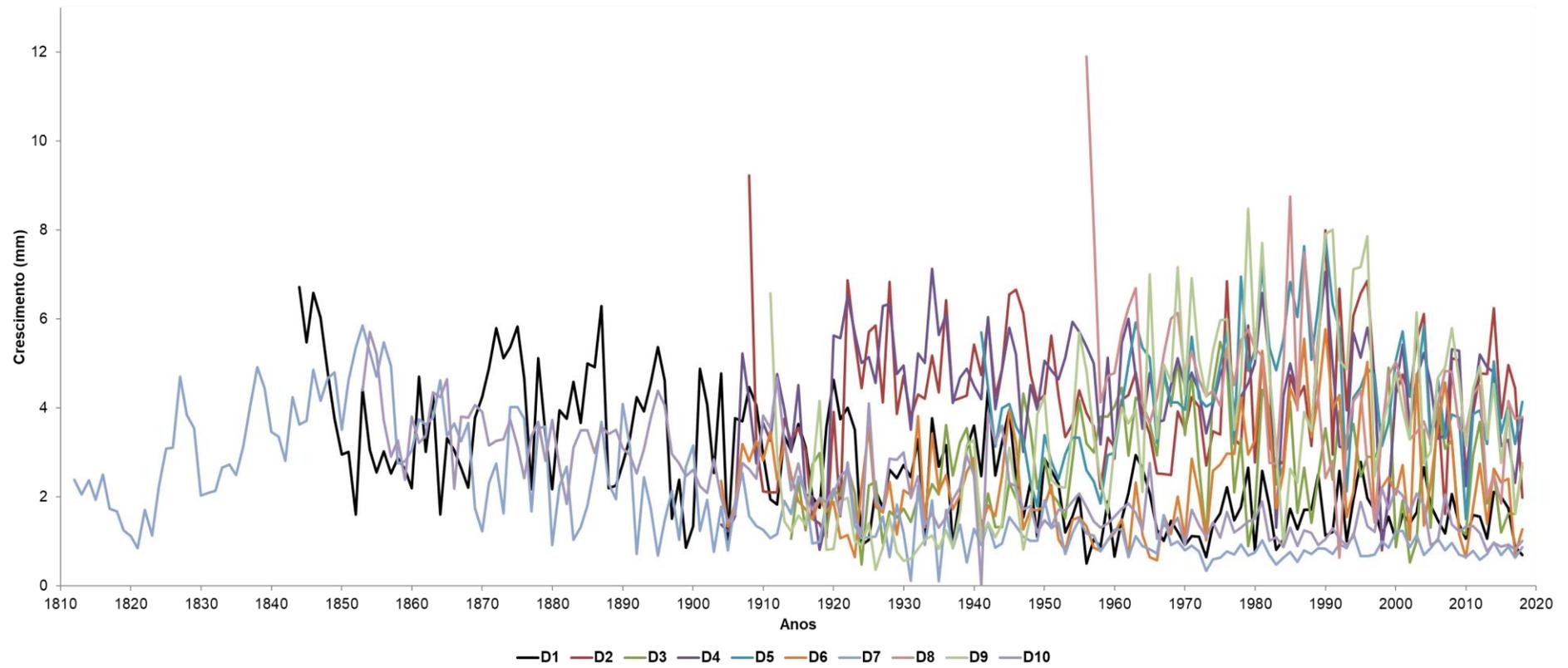


Figura 17. Mensurações radiais dos anéis de crescimento dos discos (D) da *Cedrela* sp.

O procedimento para a verificação da qualidade da datação cruzada com o programa estatístico COFECHA (APÊNDICE B) resultou nos dados apresentados na tabela abaixo (Tabela 5).

Tabela 5. Estatísticas descritivas das séries cronológicas da *Cedrela* sp.

Séries	Intervalos	Nº de anos	Intercorrelação	Sensibilidade
Disco 01	1844 - 2017	173	0,227	0,386
Disco 02	1908 - 2017	109	0,433	0,326
Disco 03	1914 - 2017	103	0,318	0,439
Disco 04	1904 - 2017	113	0,521	0,286
Disco 05	1941 - 2017	76	0,505	0,254
Disco 06	1904 - 2017	113	0,575	0,426
Disco 07	1812 - 2017	205	0,210	0,371
Disco 08	1956 - 2017	61	0,235	0,283
Disco 09	1911 - 2017	106	0,396	0,406
Disco 10	1853 - 2017	164	0,201	0,237
Média/Total		1223	0,362	0,341
Correlação crítica			0,342	0,346

Considerando o nível crítico de correlação de Pearson de 0,328 ($p < 0,01$), as dez séries com as medições das larguras dos anéis de crescimento dos indivíduos da *Cedrela* sp. alcançaram uma correlação significativa de valor 0,342. A correlação significativa assinala que existem características comuns de crescimento, padrão de crescimento, entre as séries cronológicas analisadas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e que a estas pode-se atribuir o ano calendário. Portanto, os indivíduos da *Cedrela* sp. analisados, formam anéis anuais de crescimento que são passíveis de análises dendrocronológicas.

O valor médio da sensibilidade foi de 0,346. Segundo Grissino-Mayer (2001), valores acima de 0,30 representa séries com medidas sensíveis às influências do ambiente. Para Speer (2010) os anéis das árvores são classificados como sensíveis quando seus padrões de largura variam, acentuadamente, de ano para ano.

4.1.3 Padronização das séries cronológicas da *Cedrela* sp.

No processo de padronização, três cronologias foram geradas, com os índices de crescimento, pelo programa ARSTAN, a cronologia Standard, a Residual e a Arstan (APÊNDICE C). As cronologias representam os índices de variação da largura dos anéis de crescimento das séries temporais, livre de tendências provenientes da idade, dimensão, posição sociológica e do grau de perturbação de cada área, evidenciando somente as influências idiossincráticas do ambiente em que estes indivíduos estão inseridos (CHAGAS, 2009).

Assim, considerando-se as dez séries cronológicas os índices de crescimento dos anéis da *Cedrela* sp. gerou-se uma cronologia padrão de 205 anos (Figura 18).

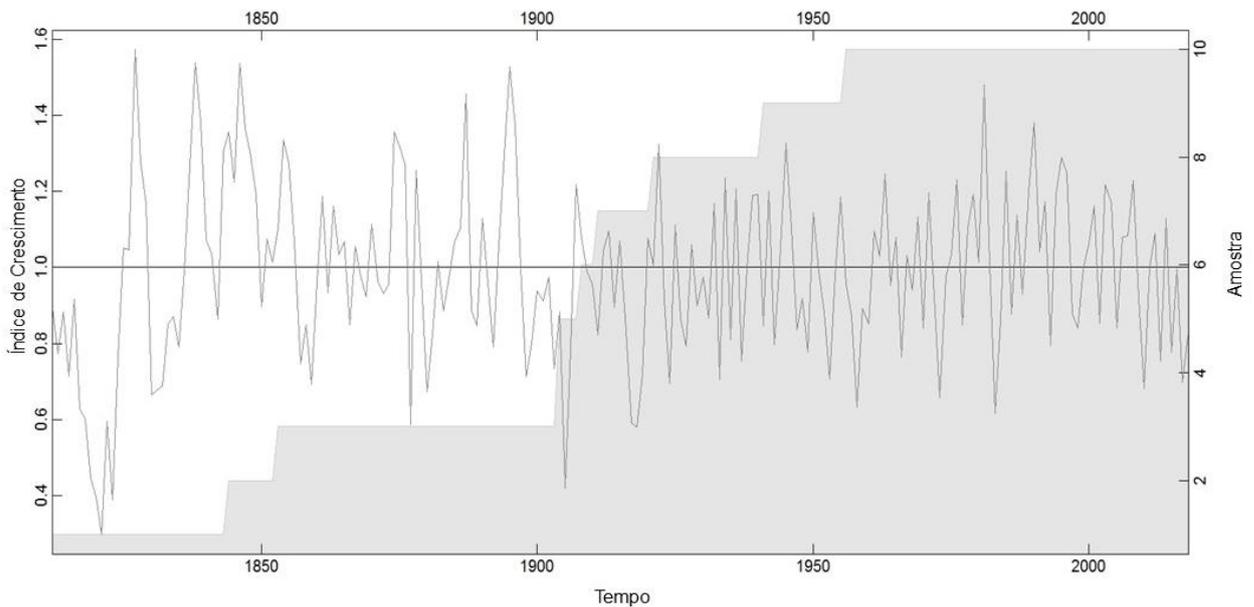


Figura 18. Cronologia padrão - índice de crescimento dos anéis da *Cedrela* sp., e o número de amostras utilizadas em cada segmento da cronologia (período de 1812 – 2017).

4.2 Correlações entre a dendrocronologia da *Cedrela* sp. e as variáveis climáticas locais

Após a obtenção das cronologias Standar, Residual e Arstan, estas foram correlacionados com as médias mensais dos 46 anos das variáveis climatológicas precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, nebulosidade e evapotranspiração potencial da microrregião de Óbidos-PA, o que resultou em um coeficientes de correlação específicos para o crescimento dos anéis do *Cedrela* sp. dispostos numa escala de tempo (meses), Esse procedimento tem a finalidade de verificar a ocorrência da influência das variáveis climáticas

no padrão de crescimento dos indivíduos amostrados. A seguir serão apresentados os resultados para cada variável climatológica local.

4.2.1 Precipitação pluviométrica

Considerando-se o gráfico de correlação da precipitação pluviométrica com as cronologias de crescimento da *Cedrela* sp. (Figura 19), observa-se que no mês de novembro do ano prévio verifica-se correlação positiva e significativa para o crescimento da *Cedrela* sp. quando consideradas as cronologias Residual e Arstan. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro do ano corrente, foi observada uma correlação positiva com tendência de crescimento que acompanha a escalada de crescimento da precipitação, no entanto, não alcançam o nível de significância estabelecido. Nos meses de março, abril, maio e junho esse padrão é invertido. Adverte-se que esse é o trimestre mais chuvoso da região e que, no mês de junho a redução das chuvas já é notória. Esse período de redução da precipitação pluviométrica se estende até o mês de novembro.

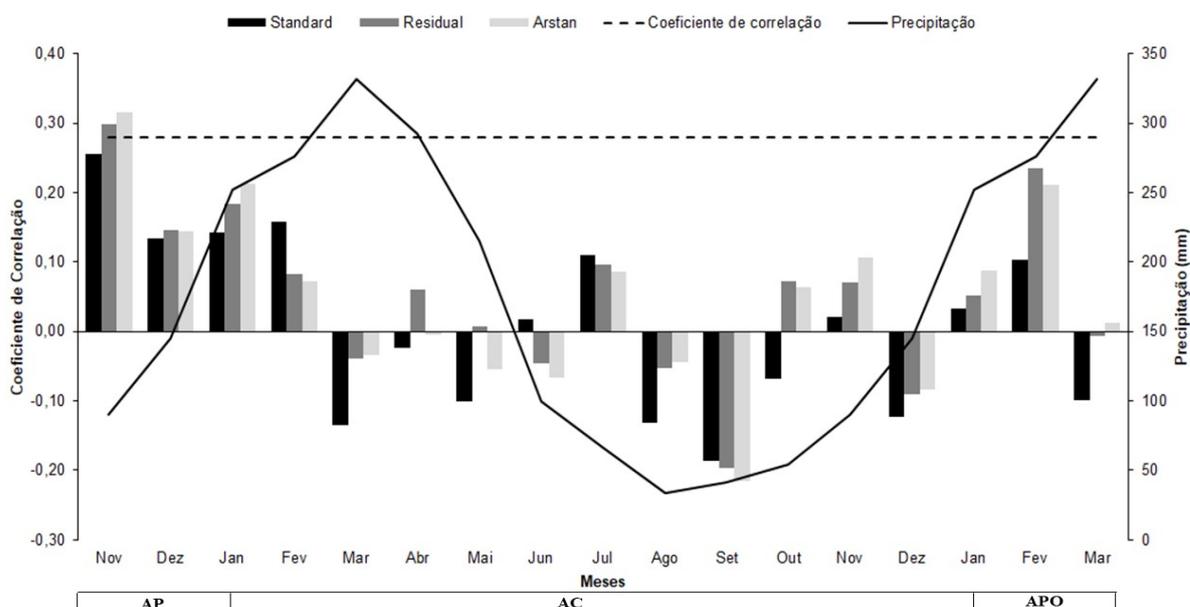


Figura 19. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e a precipitação pluviométrica (mm).

Com a análise das médias mensais da variável climatológica precipitação e a cronológica dos anéis da espécie *C. odorata*, da Flona Nacional do Tapajós no estado do Pará, Sousa (2019) encontrou correlação positiva para os meses de outubro e novembro do ano prévio, sendo positiva e significativa para os meses de janeiro e fevereiro (estação chuvosa) do

ano corrente, como também para o mês de abril do ano seguinte. Brienen et al. (2016) afirmam que o crescimento das árvores tropicais é sensível às chuvas e a temperatura e, é reduzido nos anos secos e quentes. Anholetto Júnior (2013) estudando também a *C. odorata*, em três sítios de coleta distintos, todos no bioma caatinga, encontrou correlações significativas positivas, para os meses de março, abril, junho, julho e agosto. Esses meses correspondem ao final do período de chuva para aquela região.

As árvores da *Cedrela* sp. apresentam um padrão de sensibilidade a precipitação, com o crescimento em diâmetro de tronco dependente da quantidade de precipitação pluviométrica do período de transição do mês anterior ao início das chuvas (DÜNISCH et al., 2003; LISI et al., 2008). Esse padrão de crescimento é explicado pela necessidade das árvores em armazenar reservas de compostos orgânicos, nos meses de transição do período chuvoso para o seco, para a sua utilização na estação de crescimento seguinte, proporcionando maior incremento do seu tronco (BRIENEN e ZUIDEMA, 2005).

O período de ativação do câmbio vascular de árvores da família Meliaceae, como *C. odorata* 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). Assim, alguns autores acreditam que a precipitação influencia na largura dos anéis de crescimento das espécies. Onde estes apresentam-se, com larguras maiores, nos anos mais chuvosos e com menores larguras em anos de redução das chuvas. Nas florestas tropicais chuvosas, essa afirmação ganha mais robustez devido a sazonalidade climática pronunciada (FRITTS, 1976; DÜNISCH et al., 2003; BRIENEN et al., 2006; MELO JÚNIOR et al., 2011; ANHOLETTO JÚNIOR, 2013 e 2019; SOUSA, 2019).

4.2.2 Temperatura média

A correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento e a temperatura média mensal do ar (°C) é apresentada na Figura 20. A temperatura média mensal do ar apresentou correlações negativas significativas com as cronologias de crescimento da *Cedrela* sp. no mês de novembro do ano prévio e fevereiro do ano corrente.

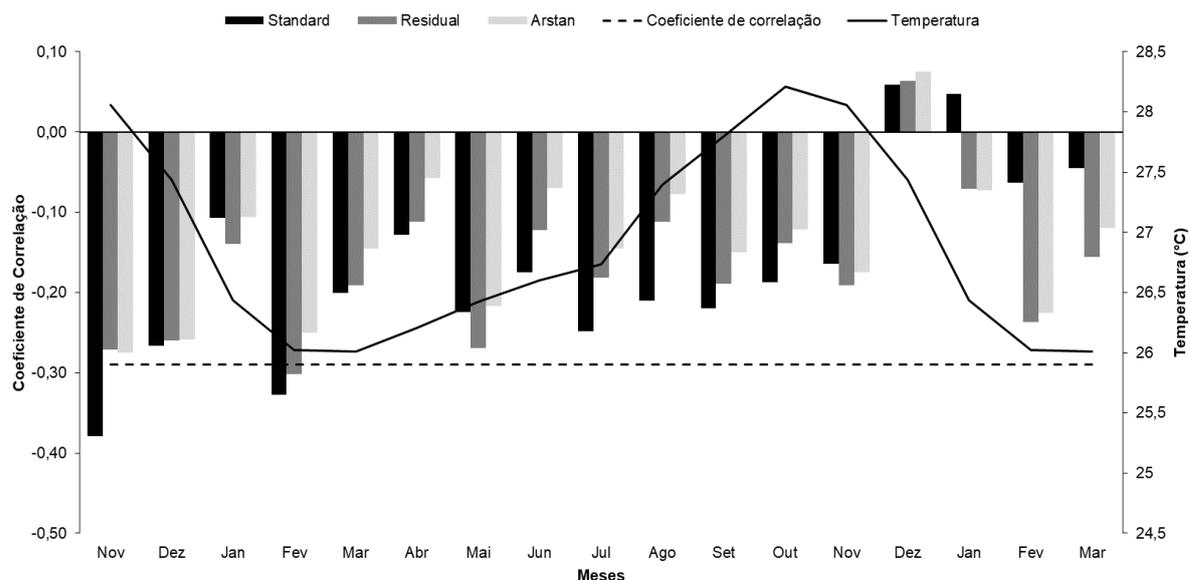


Figura 20. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e a temperatura média do ar (°C).

É importante observar que as correlações foram realizadas considerando as temperaturas médias mensais, porque nessa região a amplitude térmica é muito baixa, com temperaturas médias mensais variando entre de 25,7 e 27,7°C, média das máximas variando entre 30,0 e 32,5°C e média das mínimas de 21,0 e 22,0°C (SILVA, 2014). No entanto, para algumas espécies uma pequena flutuação na temperatura, é motivo da formação de camadas de crescimento pouco distintas, especialmente nos trópicos (WHITMORE, 1998). esse pode ser o motivo pelo qual alguns indivíduos da *Cedrela* sp., apresentaram anéis de crescimento descontínuos, com faixas de parênquima entrelaçadas. A senescência das folhas é induzida pelo déficit hídrico e possivelmente, causada por nuances na variável climática temperatura (PADILHA et al., 2016). Assim, as temperaturas máximas atingidas podem exercer forte influência sobre a fisiologia das árvores (SOUSA, 2019).

Nos trabalhos realizados por Lobão (2011), no estado do Acre, as correlações com a temperatura média não foram significativas. Sousa (2019), no estado do Pará, também não encontrou correlações significativas com os índices de crescimento dos anéis da *C. odorata* e as temperaturas máxima e mínimas.

4.2.3 Nebulosidade

Os dados da correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e a variável meteorológica nebulosidade são apresentados na Figura 21. A variável

climatológica nebulosidade não apresentou correlação significativa com o crescimento radial da *Cedrela* sp. No entanto, os coeficientes de correlação apresentaram tendências de aumento quando existe maior disponibilidade de luz que pode ser visualizada no mês de julho onde, são registrados baixos valores de nebulosidade para a microrregião de Óbidos (INMET, 2019).

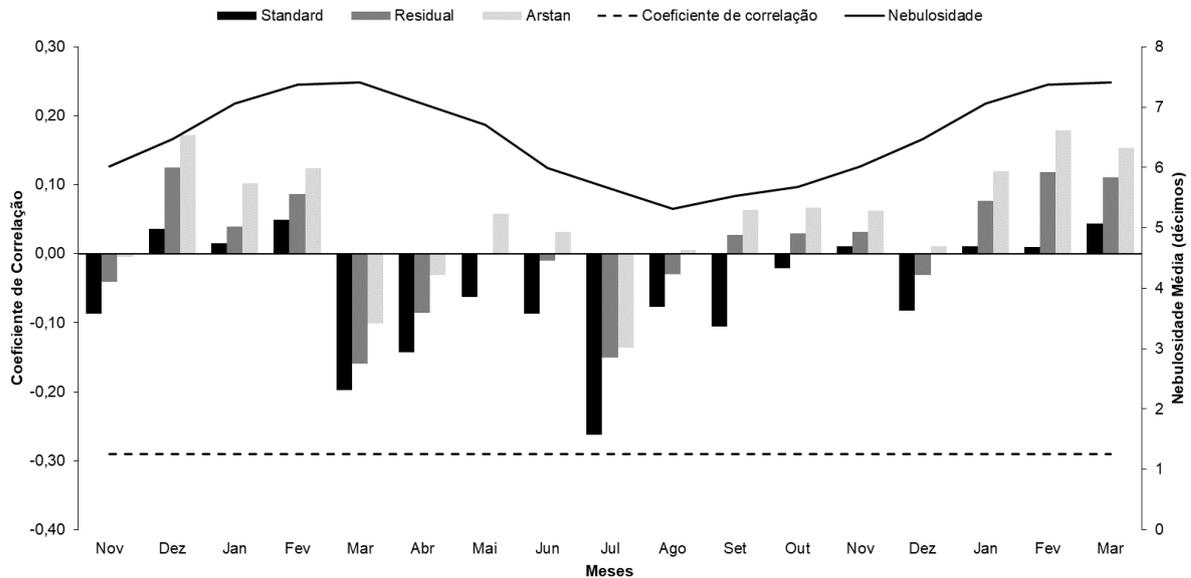


Figura 21. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e a nebulosidade (décimos).

Sá et al. (2012) estudando as componentes do clima amazônico relata que a umidade relativa do ar apresenta índices elevados, devido ao regime de precipitação típico da região, com média mensal variando entre 80% e 90% durante o ano. Tais variáveis apresentam comportamento sazonal condizente com a variação da radiação solar, onde há menor incidência dos raios solares no período de maior nebulosidade, ou seja, no período mais chuvoso. Assim, tem-se que os valores de radiação solar líquida são maiores nos meses menos chuvosos e menores nos meses mais chuvosos, devido ao aumento da concentração de nuvens neste período que diminuem a passagem dos raios solares até a superfície.

4.2.4 Evapotranspiração potencial

A correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. e a evapotranspiração é registrada na Figura 22.

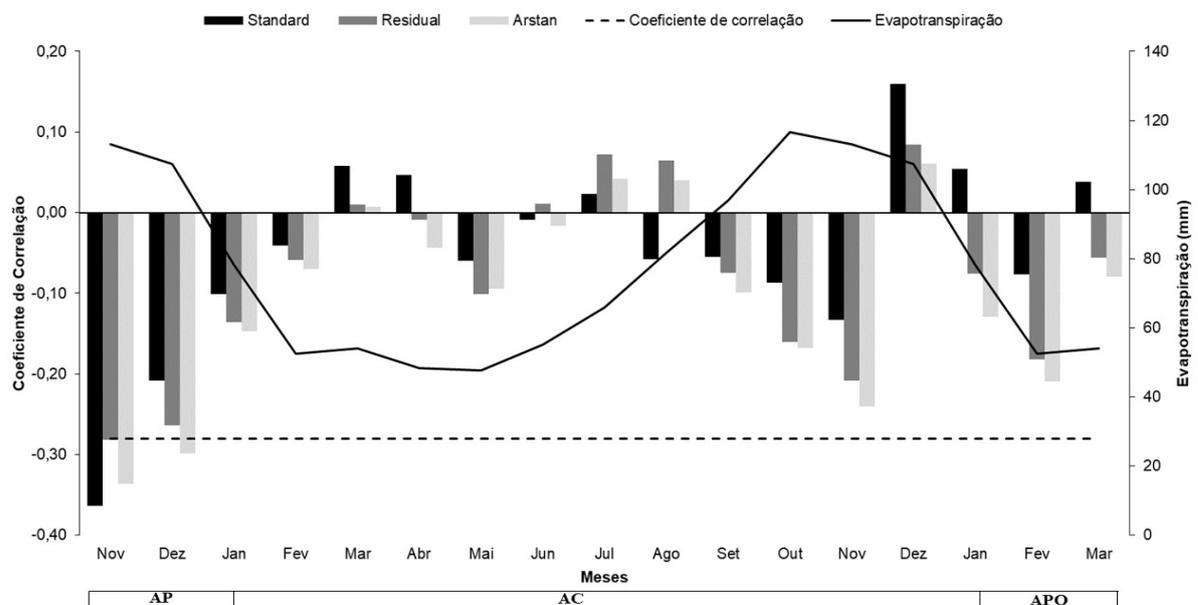


Figura 22. Correlação entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento da *Cedrela sp.* e a evapotranspiração potencial (mm).

Observando a figura 22, verifica-se que há uma correlação negativa significativa entre o crescimento e a evapotranspiração nos meses de novembro e dezembro do ano prévio. Esse período corresponde a fase de transição entre a estação seca e a chuvosa, bem como são registradas as maiores médias de temperatura do ar, menor nebulosidade e o sistema climático conta com uma maior partição da energia de superfície devido a combinação de fluxos de calor sensível em superfície e fluxos de calor latente que controla a umidade e propicia um aumento na evapotranspiração da floresta (ROCHA, 2019).

O mês de novembro do ano prévio está na condição de déficit de água no solo, de acordo com o balanço hídrico para a microrregião de Óbidos (ANEXO A). Essa condição contribui para um menor incremento no crescimento em diâmetro da árvore no ano prévio. Uma vez que, durante períodos de seca, as plantas sofrem déficit hídricos que levam a inibição do crescimento e da fotossíntese diminuindo das funções fisiológicas (TAIZ & ZEIGER, 2017). O mês de dezembro, onde a reposição da água no solo é uma realidade, tem um valor de significância menor, pois também existe uma diminuição da evapotranspiração.

Lobão (2011) trabalhando com árvores de *Cedrela sp.* do estado do Acre, também verificou uma correlação negativa entre a evapotranspiração e as taxas de crescimento das árvores no período de transição (maio) e, durante a estação seca (junho-agosto). E concluiu que que uma maior transpiração contribui para um menor crescimento do diâmetro da árvore.

4.3 Correlações entre a dendrocronologia da *Cedrela* sp. e as ocorrências dos eventos do El Niño Oscilação Sul (ENOS)

Considerando a análise de correlação entre as ocorrências dos eventos do ENOS para o intervalo de tempo de 1950 a 2017 (67 anos), e o crescimento dos anéis da *Cedrela* sp., realizada pelo pacote estatístico dplR do software R, os eventos de La Niña não apresentaram correlação significativa. No entanto, os de El Niño apresentaram e estão registradas no gráfico da Figura 23.

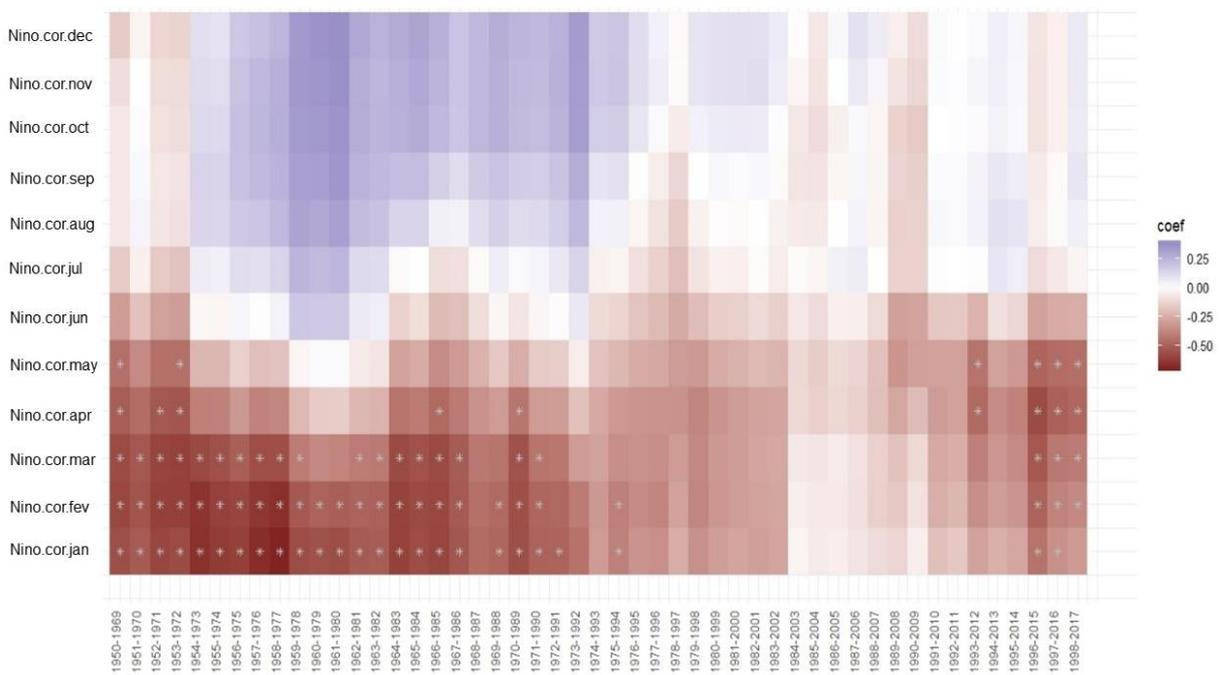


Figura 23. Correlação climática entre cronologia master da *Cedrela* sp. e a ocorrência dos eventos do El Niño (1950 – 2017).

O gráfico apresenta uma correlação negativa significativa para os eventos de El Niño com a cronologia *master*, nos meses, que historicamente são registrados maiores volumes de precipitação pluviométrica (janeiro, fevereiro e março) para a microrregião de Óbidos-PA, corroborando com o estudo de Yoon e Zeng (2010) que afirmaram que a estação chuvosa é a mais afetada pela ocorrência dos eventos do ENOS.

O El Niño de 2015, que ocasionou reduções significativas das chuvas da região amazônica, representa uma das mais fortes influências históricas sobre o aumento da temperatura em todo o planeta (MOURA et al., 2019). Esse evento está registrado, de forma pronunciada, nos anéis de crescimento da *Cedrela* sp. evidenciado no valor de decréscimo da

cronologia master quando sobreposta com os eventos de ocorrência do ENOS (Figura 24 A e B).

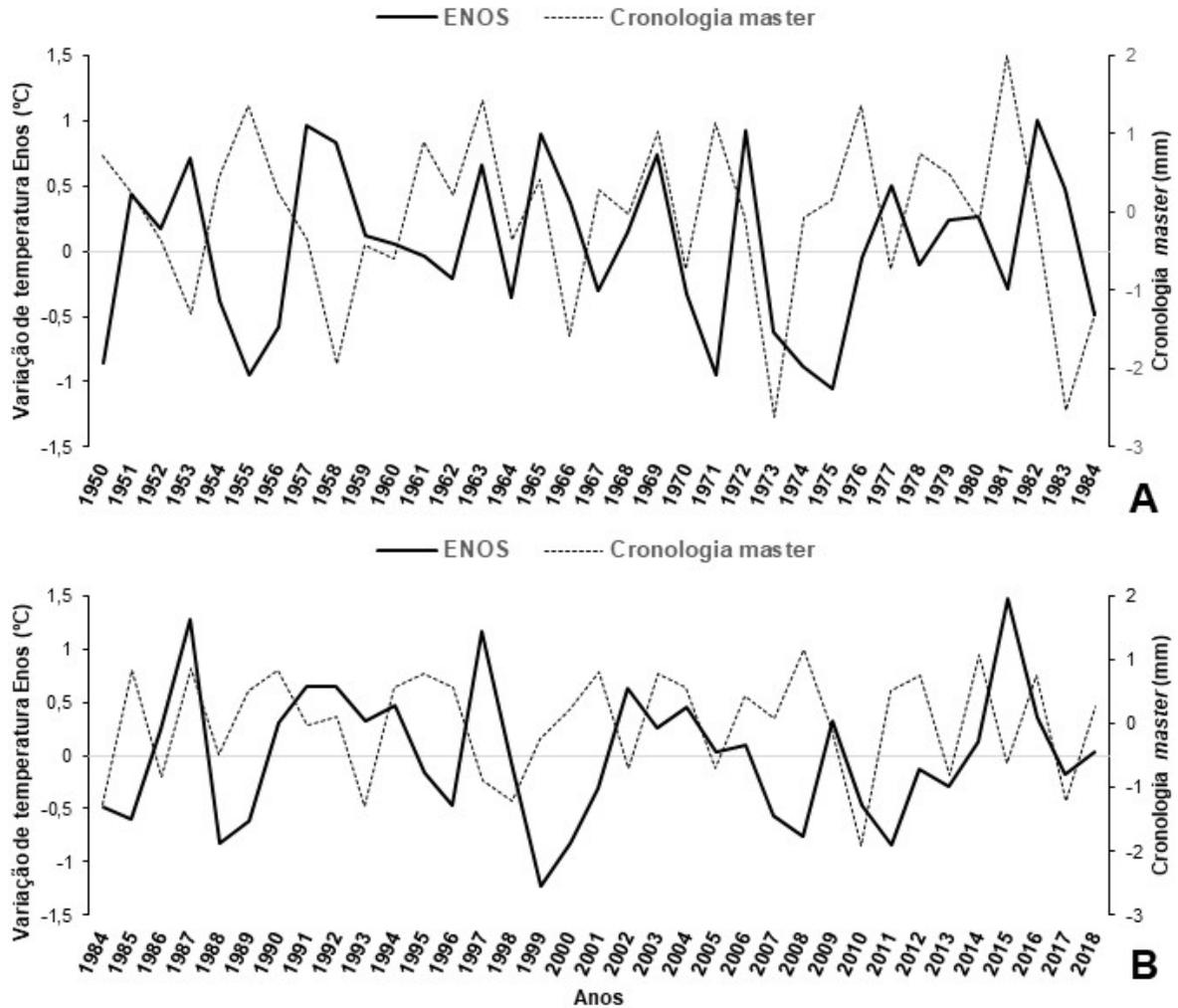


Figura 24. Relação direta entre a cronologia master da *Cedrela* sp. e a ocorrência dos eventos do ENOS.

Como observa-se na figura 24A e 25B esse comportamento se repete ao longo de todos os eventos fortes de El Niño da série cronológica estudada de 1950 a 2017 (67 anos). Quais sejam: 1957, 1958, 1959, 1973, 1976, 1977, 1982, 1983, 1990, 1991, 1992, 1993, 2015 e 2016.

Assim, tem-se que apesar da ocorrência dos eventos de El Niño explicar apenas uma fração da variabilidade da precipitação pluviométrica da Amazônia (YOON e ZENG, 2010), esta influencia o crescimento radial da *Cedrela* sp.

5 CONCLUSÕES

A espécie *Cedrela* sp. apresenta anéis de crescimento anuais, do tipo semiporosos, delimitados por faixa marginal de parênquima. A datação permitiu estimar idades entre 61 a 205 anos (1812 a 2017).

O crescimento radial da espécie *Cedrela* sp. é influenciado, em ordem decrescente, pelas variáveis climáticas locais temperatura média do ar, evapotranspiração e precipitação pluviométrica e, em relação aos eventos globais do ENOS, pela ocorrência dos eventos de El Niño.

A *Cedrela* sp. na microrregião de Óbidos é uma espécie marcadora das mudanças do clima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para um melhor entendimento do crescimento radial da espécie *Cedrela* sp. recomenda-se realizar pesquisas envolvendo os seguintes tópicos:

- estudos dendrocronológicos em outras microrregiões de ocorrência da *Cedrela* sp. e analisar outras partes da planta como na raiz;
- estudos de anatomia ecológica;
- estudos de monitoramento da atividade cambial, com avaliação fenológica e sua relação com parâmetros físicos e químicos do solo, como por exemplo: umidade do solo, nutrientes e ao balanço de energia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. T.; J. F. OLIVEIRA-JÚNIOR, R. C. DELGADO, et al. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. **International Journal of Climatology**. v. 37, n. 4, p. 2013-2026, 2017.
- ANDRADE, A.C.O.; LOBÃO, M.S.; MORATO, E.F. Fenologia de árvores de *Cedrela odorata* L. e *Cedrela fissilis* Vell. no estado do Acre In: **CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL**. 9., 2009. São Lourenço. Anais. São Lourenço, 2009 - set. de 2009. 1 CD-ROM.
- ANDRADE, F.S. Variabilidade da Precipitação Pluviométrica de um Município do Estado do Pará. **Engenharia Ambiental**, v. 08, nº 4. p. 138-145. 2011.
- ANDREACCI, F.; & BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de florestas ombrófilas do Sul do Brasil. **Floresta**. v. 44. p.323-332. 2014.
- ANHOLETTO JUNIOR, C. **Dendroecologia e composição isotópica ($\delta^{13}C$) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 96 p. 2013.
- ANHOLETTO JUNIOR, C. R. **Aplicação da dendrocronologia na avaliação das mudanças climáticas nas florestas de várzea da Amazônia Central**. TESE (Doutorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. p.71. 2019.
- BAKER, J. C. A.; SANTOS, G. M.; GLOOR, M.; BRIENENI. Does *Cedrela* always form annual rings? Testing ring periodicity across South America using radiocarbon dating. **Trees**. V. 31. 2017.
- BARBOSA, A.C.M.; PEREIRA, G.A.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R.M.; FONTES, M.A.L. Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. **Australian Journal of Botany**. 14p. 2018.
- BARROS, F.V.; BITTENCOURT, P.R.L; ARAGÃO, L.E.O.C. et al. Hydraulic traits explain differential responses of Amazonian forests to the 2015 El Niño-induced drought. **New Phytol.**, v. 223, p. 1253-1266, 2019.
- BERRY, P. M.; DAWSON, T. P.; HARRISON, P. A.; PEARSON, R. G. Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland. **Global ecology and biogeography**, v. 11, n. 6, p. 453-462, 2002.
- BRÄKER, O. U. Measuring and data processing in tree-ring research – a methodological introduction. **Dendrochronologia**, Verona, v. 20, n. 1/2, p. 203-216. 2002.
- BRIDGE, M. Locating the origins of wood resources: a review of dendroprovenancing. **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 8, p. 2828 – 2834. 2012.

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

BRIENEM, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A.; SCHÖNGART, J. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical species. **Tree Physiology**, v.6, p. 439-461, 2016.

BRIENEM, R.J.W.; ZUIDEMA, P. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. **Oecologia**, v. 163, p. 485–496, 2010.

BRIENEM, 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, 2006.

BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. Basic chronology statistics and assessment. In: Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht. 1990.

BRIFFA, K.; JONES, P.D. Basic chronology statistics and assessment. In: E. COOK; L. KAIRIUKSTIS. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht, **Springer-Science**, Business Media, B.V. 1990.

CASTAGNERI, D.; BATTIPAGLIA, G.; VON ARX, G. et al. Tree-ring anatomy and carbon isotope ratio show both direct and legacy effects of climate on bimodal xylem formation in *Pinus pinea*. **Tree Physiol.** v. 38. p. 1098–1109. 2018.

CECCANTINI, G.; GAMBOA, C.S.; SCHÖNGART, J.; IWASAKI-MAROCHI, C. Os anéis de crescimento das árvores desvendando as mudanças climáticas. **Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil: dimensão botânica**. p. 5-23. 2008.

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.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 114p. 2009.

CHICAIZA, M. A. N. **Crecimiento y dendrocronologia de *Cedrela odorata* em um bosque de la Amazonia Ecuatoriana.** Dissertação (Mestrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito. P. 37. 2015.

CITES 2015 - convention on international Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. <https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2015/E-Appendices-2015-02-05.pdf>. Acesso em 13 de fevereiro de 2020.

Clark, D. A.; Clark, D. B. Life history of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. **Ecological Monographs**, v. 62: 315-344. 1992.

CNCFlora. *Cedrela fissilis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela fissilis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela%20fissilis)>. Acesso em 16 fevereiro 2021.

COOK, E. R.; HOLMES, R. L. Arstan: Guide for computer program Arstan. Adapted from User's Manual for Program Arstan, in *Tree-Ring Chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern great Basin*. **Chronology development, statistical analysis**, 9p. 1995.

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

COUTINHO, E. C.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M. et al. Water Balance in the Brazilian Amazon Basin. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.11, n.06. 2018.

CPTEC / INPE – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://clima.cptec.inpe.br/>. Acesso em 23 de outubro de 2019.

CUNY, H.; RATHGEBER, C. B. K. 2016. Xylogenesis: coniferous trees of temperate forests are listening to the climate tale during the growing season but only remember the last words! **Plant Physiol**, v. 171. p. 306–317. 2016.

CUNY, H.; RATHGEBER, C. B. K.; FRANK, D, et al. Woody biomass production lags stem-girth increase by over one month in coniferous forests. **Nature Plants**, v. 1: 15160. 2015.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**. v. 481. p. 321–328. 2012.

DE MICCO, V.; CARRER, M.; RATHGEBER, C. B. K. et al. From xylogenesis to tree rings: wood traits to investigate tree response to environmental changes. Tree-ring formation and wood traits **IAWA Journal**, v. 40 (2). p. 155–182. 2019.

DELPYERRE, N.; LIREUX, S.; HARTIG, F., et al. Chilling and forcing temperatures interact to predict the onset of wood formation in Northern Hemisphere conifers. **Global Change Biol**. v. 25. p. 1089 –1105. 2019.

DESHPANDE, A. G.; BOUTTON, T. W.; HYODO, A. Bottomland hardwood forest growth and stress response to hydroclimatic variation: evidence from dendrochronology and tree ring ^{13}C values. **Biogeosciences**. V. 17. 2020.

DOUGLASS, A. E. 1919. Climatic cycles and tree growth. **Carnegie Institution of Washington**. Washington.

DÜNISCH, O.; MONTOIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**. v. 17. 2003.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. 1. ed. [S.l.]: Comunicações Técnicas Florestais. 2005.

ESPER, J.; COOK, E.R.; KRUSIC, P.J.; PETER, K.; SCHWEINGRUBER, F.H. Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies. **Tree-ring research** 59. p.177-187. 2003.

ESPER, J.; GÄRTNER, H. Interpretation of tree-ring chronologies. **Erdkunde**. N. 55. v. 3. 2001.

ESPINOZA, M. J. P.; GUILLEN, G. J. I.; MORAES, M. S.; ARESMENDES, R. R. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudos dendrocronológico en la selva central del Perú. **Revista Biologica Tropical**. São José. Vol. 62. 2014.

EVERT, R.F. Anatomia das Plantas de ESAU: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento. **Blucher**. São Paulo. 728 p. 2013.

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, v. 94, p.83-100. 1981.

FERRERO, M. E.; VILLALBA, R.; RIVERA, S. M. An assessment of growth ring identification in subtropical forests from northwestern Argentina. **Dendrochronologia**, Verona, v. 32, n. 2, p. 113-119. 2014.

FICHTLER, E. Dendroclimatology using tropical broad-leaved tree species – A review. **Erdkunde**, n.71, v. 1. 2017.

FICHTLER, E.; WORBES, M. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. **IAWA Journal**, Leiden, v. 33, n. 2, p. 119-140. 2012.

FLORES, T. B.; SOUZA, V. C.; COELHO, R. L. G. Flora do Espírito Santo: Meliaceae. **Rodriguesia**. v. 68(5). p. 1693 – 1723. 2017.

FONTANA, C.; OLIVEIRA, J. M.; REIS-AVILA, G. et al. Dendrochronology and climate in the Brazilian Atlantic Forest: Which species, where and how. **Neotropical Biology and Conservation**. n 13, v. 4. 2018.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTE, E. P. Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 4. p. 429 – 444. 2011.

FRITTS, H. C. Dendroclimatology and dendroecology. **Quaternary Research**, Cambridge, v. 1, n. 4, p. 419-449. 1971.

FRITTS, H. C.; LOFGREN, G. R.; GORDON, G. A. Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. **Quaternary Research**, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 18-46. 1979.

FRITTS, H. C.; SWETNAM, T. W. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. **Advances in Ecological Research**, Amsterdam, v. 19. 1989.

FRITTS, H.C. Tree rings and climate. New York: **Academic Press**. 1976.

FU, R.; YIN, L.; LI, W.; ARIAS, P.A.; DICKINSON, R.E.; HUANG, L. et al. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. **ProC. Natl Acad. Sci.**, v. 110, n. 18, p. 110-115, 2013.

GLANDZ, M. H. Currents of change: Impacts of El Niño and La Niña on climate and society. Second Edition. **Cambrigd**, University Press. p. 252. 2001.

GRANATO-SOUZA, D.; STAHLE, D.; BARBOSA, M. C. Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon. **Climate Dynamics**. 52. 2019.

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program *cofecha*. **Tree-ring Research**, v. 57 (2). p. 205- 221, 2001.

GUEROVICH, A. S. **Dendrocronología del cedro *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) de la Amazonia sur del Perú, la región Madre de Dios**. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Escuela de Postgrado Especialidad en Bosques y Gestion de Recursos Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. p. 147. 2011.

HANADA, R. E.; GASPAROTTO, L.; FERREIRA, F. A. Primeiro relato de mancha foliar em *Cedrela odorata* causada por *Pseudobeltrania Cedrelae*. **Embrapa Amazônia Ocidental**. 2005.

HEINRICH, I.; SCHOLLAEN, K.; NEUWIRTH, B. et al. Multiple tree-ring chronologies (ring width, $_{13}\text{C}$ and $_{18}\text{O}$) reveal dry and rainy season signals of rainfall in Indonesia. **Quaternary Science Reviews**. v. 73. 2013.

HENRIQUES, S. F. O futuro incerto das Florestas Tropicais. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 33 n.2 Lisboa. 2010.

HIETZ., P.; WANEK., W.; DÜNISCH., O. Long-term trends in cellulose delta13 C and water-use efficiency of tropical *Cedrela* and *Swietenia* from Brazil. **Tree Physiol**. V. 25(6). 2005.

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

HUBBELL, S.P. Tropical rain forest conservation and the twin challenges of diversity and rarity. **Ecology and Evolution**, n. 3, v. 10. 2013.

IAWA COMMITTEE. IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. **IAWA Bulletin**. v. 10, n. 3. p. 219-332. 1989.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em 16 de fevereiro de 2020.

INGA, J.G.; DEL VALLE, J.I. Log-relative growth: A new dendrochronological approach to study diameter growth in *Cedrela odorata* and *Juglans neotropica*, Central Forest, Peru. **Dendrochronologia**. v.44. 2017.

INPE/CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos- SP, 2011.
Disponível em: enos.cptec.inpe.br/ acesso em: 10 jan. 2011.

KAENNEL, M. & F. SCHWEINGRUBER. **Multilingual glossary of Dendrochronology**.
Terms and definitions in English, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Swiss
Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmensdorf. 1995.

KHAM, N. Common species for Tree Rings Dating. 1997. Disponível em
<http://www.emporia.edu/S/www/earthsci/student/nang/treering.htm>. Acesso em 22 de
fevereiro de 2020.

LATORRACA, J.V.F.; CASTRO, J.P.C.; SANTOS, G.C.V. **Guia para identificação
macroscópica de madeira**. Clube de autores 1 Ed – Seropédica, 2018.

LAYME-HUAMAN, E.T.; FERRERO, M.E.; PALACIOS-LAZARO, K.S.; REQUENA-
ROJAS, E. J. *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the
montane tropics of South America. **Dendrochronologia**, v. 50. 2018.

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Mortality
Patterns and Stand Turnover Rates in a Wet Tropical Forest in Costa Rica. **Journal of
Ecology**, London, v. 73, n. 3, p. 915 – 924. 1985.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J.A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in
the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14. 2001.

LISI, C. S.; TOMAZELLO FILHO. M; BOTOSSO, P. C; ROIG., F. A. et al. Tree-ring
formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-
deciduous forest in Southeast Brazil. **J. IAWA**. v. 29:189 – 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**. Tese (Doutorado) - Escola
Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. p. 215. 2011.

LÓPEZ, B.C.; SABATE, S.; GRACIA, C. A.; RODRÍGUEZ, R. Wood anatomy, description
of annual rings and responses of ENSO events of *Prosopis pallida*. **Journal of Arid
Environments**. v. 6.: p. 541-554. 2005.

LORENSI, C. **Resposta dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O.
Kuntze da região sul do Brasil aos forçantes geofísicos e climáticos**. Tese (Doutorado) –
Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos. p. 107. 2016.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas
nativas do Brasil. 5 ed. **Nova Odessa: Plantarum**. v. 1. p 384. 2008.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e
mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 26. p.
206 – 227. 2011.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**. V. 21. 2008.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophys. Res. Lett.**, v. 38. 2011.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CONTINI, E.; NAVARRO, Z. Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo. Brasília, DF: **Embrapa Estudos e Capacitação**. 2011.

MARTÍNEZ, L. A Guide to Dendrochronology for Educators. 1996. Disponível em <http://www.ltrr.arizona.edu/people/henry/lorim/lori.htm>. Acesso em 22 de fevereiro de 2020.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. Dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais. Ed. 21. **Colombo**. Embrapa Florestas. Documento 112. p. 37. 2011.

MCCARTHY, B. Dendrochronology Seminar. **PBIO-69 Dendrochronology Seminar 500 Server**. Ohio University. 1998.

MEKDECE, F.S.; ALMEIDA, E.C.; RAYOL, B.P. **Manual de sementes florestais do oeste do Pará: coleta, beneficiamento e análise**. Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas, Laboratório de Sementes Florestais, Santarém-PA, 2013.

MÉRIAN, P.; PIERRAT, J.C.; LEBOURGEOIS, F. Effect of sampling effort on the regional chronology statistics and climate-growth relationships estimation. **Dendrochronologia**, n. 31, v.1. 2013.

MIRANDA, D. L. C. **Anéis de crescimento e radiocarbono nas análises de incremento e variações celulares em árvores exploradas de florestas em segundo ciclo de corte no sul da Amazônia**. Tese (Doutorado) INPA, Manaus p. 76. 2017.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. <https://mma.gov.br/biomas.html>. Acesso em 16 de fevereiro de 2020.

MOREIRA, F. M.; CONCEIÇÃO, C. S.; CRUZ, M. C. S. PEREIRA JÚNIOR, A. A influência dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña* sobre a dinâmica da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**. 2018.

MOURA, M. N. **Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém-PA. p. 95. 2014.

MOURA, M.M.; SANTOS, A.R.; PEZZOPANE, J.E.M.; et al. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**. v. 651. 2019.

NAVARRO, C.; WARD, S.; HERNÁNDEZ, M. The tree *Cedrela odorata* (Meliaceae): a morphologically subdivided species in Costa Rica. **Revista Biologia Tropical**, San Jose,

v.50, n.1. p. 21-29. 2002.

NEGRÓN, J. R. I.; CHAMBERS, J. Q.; GUIMARAES, G.; ZENG, H.; RAUPP, F.M.; MARRA, D. M.; RIBEIRO, G. H. P.; SAATCHI, S. S.; NELSON, B. W. HIGUCHI, N. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin squall line event. **Geophysical Research Letters**. v.37. p. 65 – 81. 2010.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Revista de Geografia**. Universidade Federal do Ceará v. 13. p. 107 – 118. 2014.

OLIVEIRA, A. K. M.; BARBOSA, L. A. Efeitos da temperatura na germinação de sementes e na formação de plântulas de *Cedrela fissilis*. **Floresta**. Curitiba, PR. v. 44, n. 3. p. 441 – 450. 2014. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/33260/23191>. Acesso em 01 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze**. 139 f. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

PADILHA, N.S.; SILVA, C.J.; PEREIRA, S.B.; SILVA, J.A.N.; HEID, D.M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S.P.Q. Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 26, n. 2. 2016.

PAIVA, E.A.S.; BUONO, R.A.; DELGADO, M.N. Distribution and structural aspects of extrafloral nectaries in *Cedrela fissilis* (Meliaceae) flora - morphology, distribution, functional **Ecology of Plants**. London. v. 202, n.6. p.455-461. 2007.

PENA FILHO, P. Reflexões sobre o Brasil e os desafios Pan-Amazônicos. **Revista Brasileira de Política**. v. 56, 2013. p 94-111. 2013.

PHILLIPS, O. L. et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytol.**, v. 187. 2010.

PRERA, A. E. M. **Interpretación dendrocronológica y desarrollo de modelos de crecimiento em dois espécies tropicales: *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* em la Reserva Biológica Maya, Petén, Guatemala**. Tese (Doutorado). Centro Tropical de Investigación y Docencia, Costa Rica. P.47. 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria. 2020.

RAUBER, R. C. **Dendrocronologia de *Cedrela fissilis* Vell. Em um ecótono de Florestas Subtropicais Montanas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. p. 80. 2010.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 25. p. 185-204. 2010.

REITZ, J.R. Meliaceae. Itajaí: Flora **Ilustrada Catarinense**. p. 103. 1984.

ROIG, F.A. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. In: ROIG, F.A. (Ed.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: **EDIUNC**. p 381–431. 2000.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; SHUTTLEWORTH, J. **Evapotranspiração. Amazonia and Global Change**. (Monograph Geophysical). American Geophysical Union. v. 186. 2009. by the

RONCHAIL, J.; BOURREL, L.; COCHONNEAU, G. et al. Inundations in the Mamoré basin (South-Western Amazon - Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **Journal of Hydrology**, v. 302. p 223-238. 2005.

ROQUETTE, J. G.; LOBO, F. A.; CURADO, L. F. A. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 451-462. 2019.

ROWLAND, L.; DA COSTA, A. C. L.; OLIVEIRA, A. A. R. Shock and stabilisation following long-term drought in tropical forest from 15 years of litterfall dynamics. **Journal of Ecology**. v. 106:1673–1682. 2018.

SÁ, M.; LEAL, L.; CAMPOS, J. et al. Estudo do clima e interações entre a floresta ea atmosfera, no parque nacional do Pico da Neblina, São Gabriel da Cachoeira, AM. In: Castellon, E. G.; Souza, L. A. G. Desvendando as fronteiras do conhecimento na região amazônica. **INPA**. p. 23 - 37. 2012.

SANTOS, A. D.; BECHIS, I. O.; MIRANDA, G. F. et al. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na microrregião de Óbidos, Pará: um estudo utilizando a CPC Morphing Technique (2005 – 2017). **Revista de Geografia**. Recife. v. 36, Nº 2. 2019.

SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M. Crescimento de *Cedrela odorata* L. no município de Colniza, MT. Documento 322. **Embrapa Floresta**, Colombo, PR. 2018.

SANTOS, C. A.; SERRÃO, E. A. O.; GONÇALVES, L. J. M. et al. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**. v.10. p. 3092 – 3107. 2014.

SANTOS, D.L.; RAKOCEVIC, M.; TAKAKI, M.; RIBASKI, M. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light - **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba. v. 49, n. p. 171-18. 2006.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C.P.W.; MANZI, A.O; CANDIDO, L.A. A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**. v. 40, p. 1396–1401. 2013.

SCHWEINGRUBER, F. H. Tree Rings and Environment: **Dendroecology**: Haupt Press, 1996.

SILVA, D.A. Análise dos Ciclos de Precipitação na região de Boa Vista - RR nos anos de 1910 a 2014. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 34.p. 49. 2015.

SILVA, G. F. G. **Análise de sensibilidade do NDVI na parametrização da modelagem atmosférica para a região Oeste do Pará.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Oeste do Pará. p. 114. 2014.

SOARES, L. C. Limites meridionais e orientais da área de ocorrência da floresta amazônica em território brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 1, 1953.

SOLIZ-GAMBOA, C.C.; ROZENDAAL, D.M.A.; CECCANTINI, G. et al. Evaluation the annual nature of juvenile rings in Bolivian Tropical rainforest trees. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, Santa Monica, v. 25, n. 1, p. 17 - 27. 2011.

SOUSA, A. M. L.; ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I. et al. Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Amazônia Durante Eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v 08, nº 01. p. 24. 2015.

SOUSA, L. K. V. S. **Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (*Cedrela odorata*) L. e jatobá (*Hymenaea courbaril*) L. ocorrentes na FLONA Tapajós, PA.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 133 p. 2019.

SPEER, J.H. **Fundamentals of tree-ring research.** Tucson, University of Arizona Press, p. 368. 2010.

STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. An Introduction to Tree Ring Dating, London W. C.: **University of Chicago Press.** 73 p. 1968.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6ª Ed. Porto Alegre. Artmed. 2017.

TARELKIN, Y. et al. Growth-ring distinctness and boundary anatomy variability in tropical trees. **IAWA Journal**, Leiden, v. 37, n. 2, p. 275-294. 2016.

TEJAS, G. T.; SOUZA, R. M. S.; FRANCA, R. R.; NUNES, D. D. Estudo da variabilidade climática em Porto Velho/RO-Brasil no período de 1982 a 2011. **Revista de Geografia**. v. 29. p. 63 – 81. 2012.

TER STEEGE, H.; SABATIER, S.; CASTELLANOS, H.; VAN ANDEL, T.; DUIVENVOORDEN, J. et al. An analysis of the floristic composition and diversity of Amazonian forests including those of the Guiana Shield. **Journal of Tropical Ecology**. v. 16. p. 801–828. 2000.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia**, p. 117-140. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. Univ. Pontifica Comillas. p. 285. 2001.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.; LESJAK; BARRELA, W. (Org.) Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. **São Paulo: EDUC.** p. 117-144. 1999.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, S.C. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F.A. **Dendrocronologia em América Latina**. Mendoza: Universidade Nacional de Cuyo. p. 381 – 431. 2000.

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.

TSOUMIS, G. Wood as raw material. London: **Pergamon Press**. p 263. 1969.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. Revista Agro@ambiente. On-line, v. 5, n. 2, p.158-165. 2011.

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, p.135-155. 2000.

VILLANUEVA, K. P.; LÓPEZ, L.; CERRILLO, R. M. N. Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in three forest types and their relation to climate. **Trees**. v.30. Ed. 2. 2016.

WHITMORE, T. C. An introduction to tropical rain forests. **Oxford University Press**, New York. 1998.

WIMMER, R. Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. **Dendrochronologia**, Verona, v. 20, n. 1, p. 21-36. 2002.

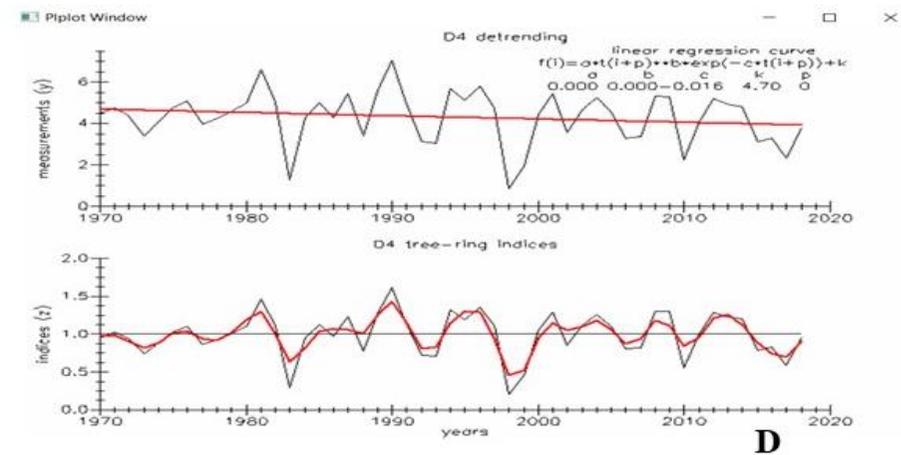
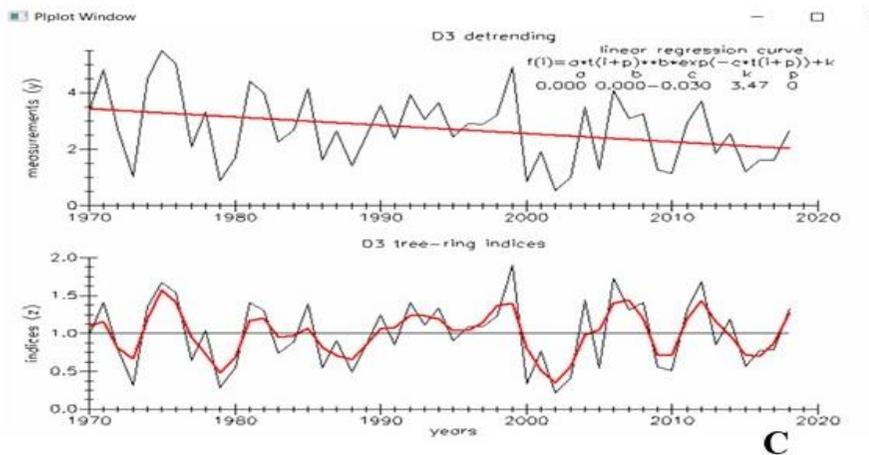
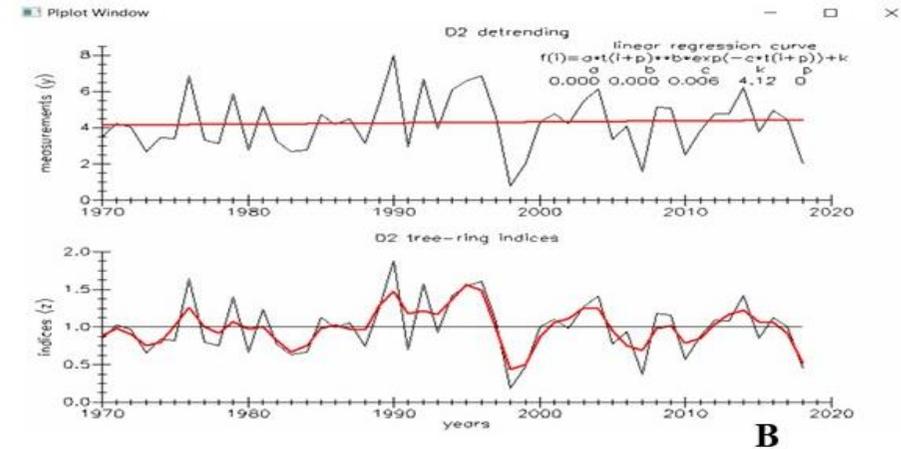
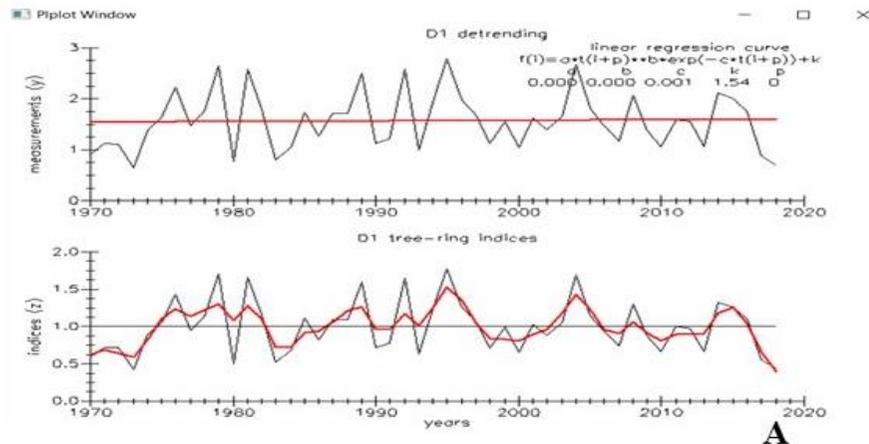
WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 20, p.217 – 231. 2002.

YOON, J. H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**. v. 34. p. 249-264. 2010.

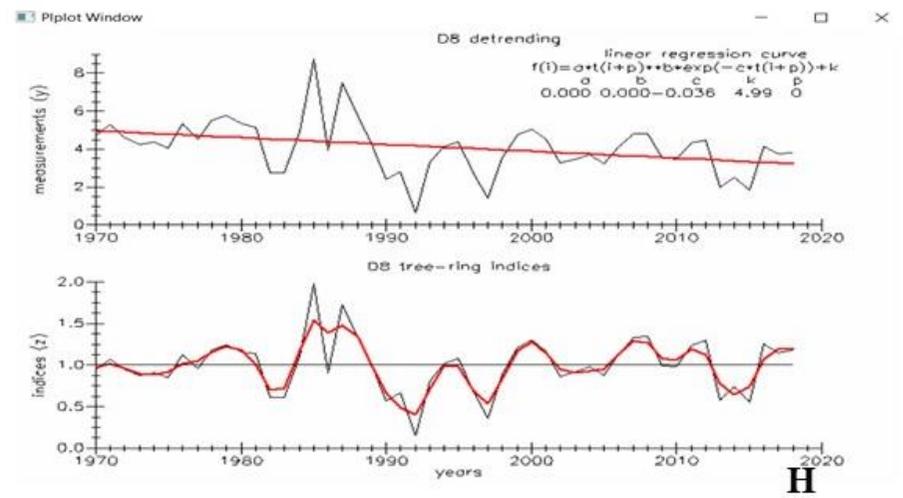
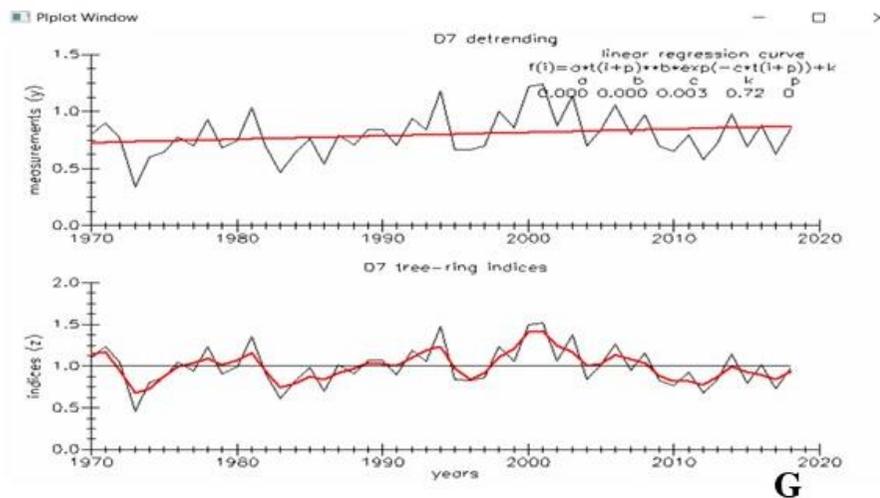
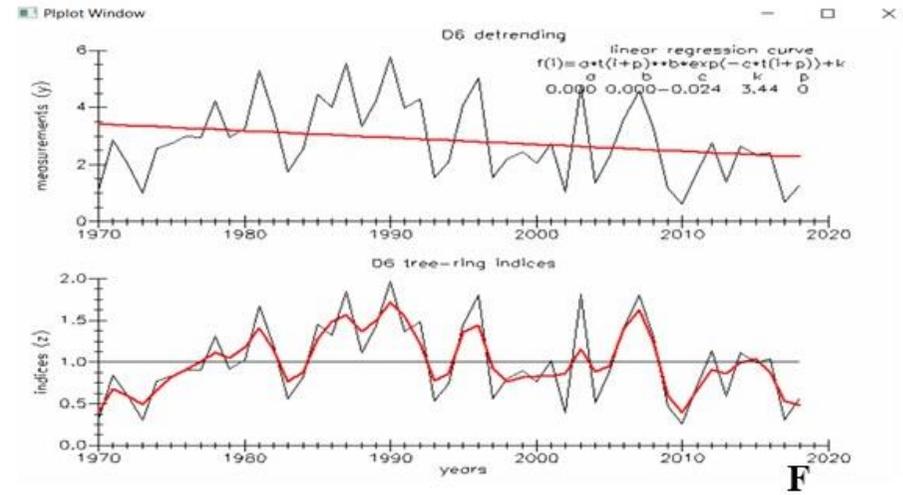
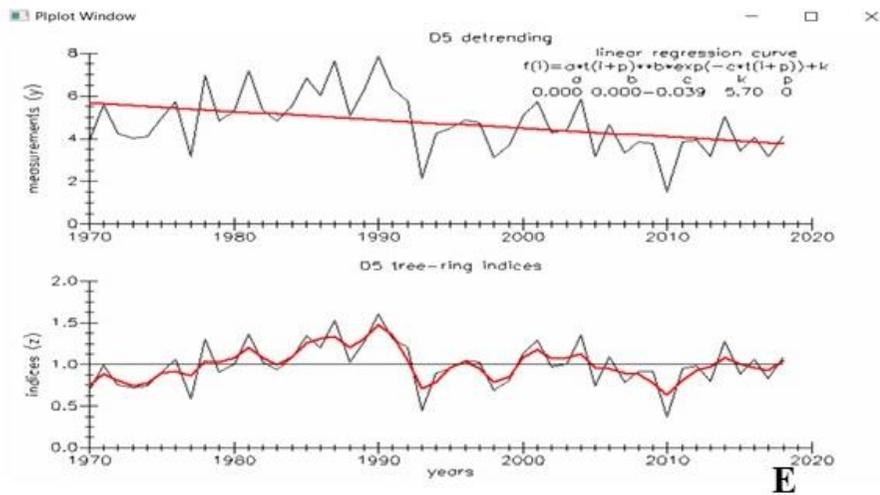
ZANON, M. L. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze diferenciado por dioicidia**. Dissertação (Tese de Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

APÊNDICES

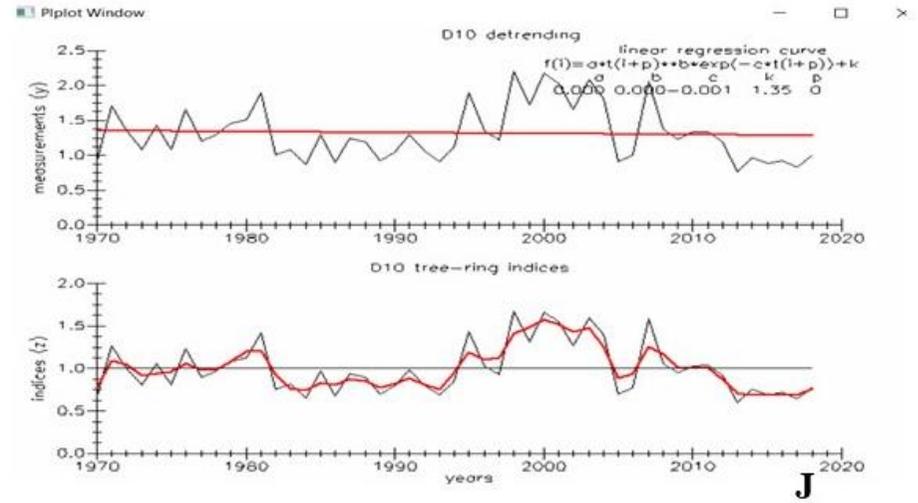
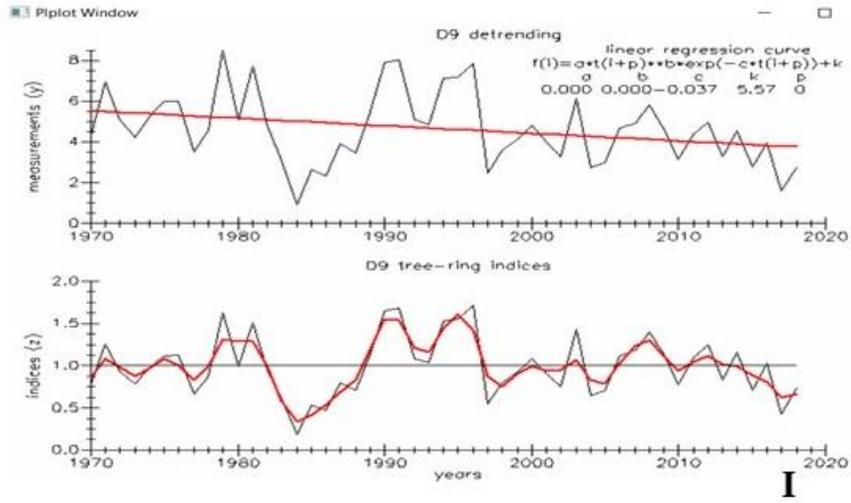
A - Padronização das medidas radiais (ARSTAN)



A:disco 01; B: disco 02; C: disco 03; D: disco 04.



E:disco 05; F: disco 06; G: disco 07; H: disco 08.



I:disco 09; J: disco 10.

B – Estadística descriptiva (COFECHA)

Estadística descriptiva

[] Dendrochronology Program Library

Run CED5

Program COF 15:54

Thu 05 Feb 2020

Page 1

[]

[] P R O G R A M C O F E C H A

Version 6.00P 31084

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS

File of DATED series: MESTRA5FMT.TXT

CONTENTS:

Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series

Part 2: Histogram of time spans

Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year

Part 4: Bar plot of Master Dating Series

Part 5: Correlation by segment of each series with Master

Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers.

Part 7: Descriptive statistics

RUN CONTROL OPTIONS SELECTED

VALUE

1 Cubic smoothing spline 50% wavelength cutoff for filtering - 32 years

2 Segments examined are -50 years lagged successively by 25 years

3 Autoregressive model applied - A Residuals are used in master dating series and testing

4 Series transformed to logarithms - Y Each series log-transformed for master dating series and testing

5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)

Critical correlation, 99% confidence level .3281

6 Master dating series saved - N

7 Ring measurements listed - N

8 Parts printed - 1234567

9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations (Y)

Time span of Master dating series is 1812 to 2018 207 years

Continuous time span is 1812 to 2018 207 years

Portion with two or more series is 1844 to 2018 175 years

C Number of dated series 10 *C*

O Master series 1812 2018 207 yrs *O*

F Total rings in all series 1243 *F*

E Total dated rings checked 1211 *E*

C Series intercorrelation .342 *C*

H Average mean sensitivity .346 *H*

A Segments, possible problems 14 *A*

*** Mean length of series 124.3 ***

BSENT RINGS listed by SERIES: (See Master Dating Series for absent rings listed by year)

7 1 absent rings: 1949
1 absent rings .080%

PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS: 15:54

Thu 05 Feb 2020

Page 8

Corr //----- Unfiltered -----\\ //---- Filtered -----\\

No.	No.	No.	with	Mean	Max	Std	Auto	Mean	Max	Std	Auto	AR				
Seq	Series	Interval	Years		Segmt	Flags	Master	msmt	msmt	dev	corr	sens	value	dev	corr	()
1	D1	1844	2017	173	7	3	.227	2.65	6.72	1.404	.625	.386	2.62	.466	-.044	1
2	D2	1908	2017	109	4	1	.433	4.21	9.23	1.513	.256	.326	2.66	.459	.023	1
3	D3	1914	2017	103	4	1	.318	2.66	5.49	1.162	.344	.439	2.55	.451	-.014	1
4	D4	1904	2017	113	4	0	.521	4.38	7.14	1.321	.395	.288	2.47	.428	-.009	5
5	D5	1941	2017	76	3	0	.505	4.31	7.84	1.370	.523	.254	2.41	.391	-.024	1
6	D6	1904	2017	113	4	0	.575	2.31	5.77	1.168	.455	.426	2.72	.557	.021	1
7	D7	1812	2017	205	7	4	.210	1.89	5.86	1.299	.803	.371	2.62	.347	-.019	1
8	D8	1956	2017	61	2	2	.235	4.48	11.91	1.739	.513	.283	2.60	.491	-.060	3
9	D9	1911	2017	106	4	1	.396	3.42	8.49	2.040	.650	.406	2.67	.521	-.009	1
10	D10	1853	2017	164	6	2	.201	2.27	5.71	1.060	.768	.237	2.76	.369	-.005	1
Total or mean:				1223	45	14	.342	3.01	11.91	1.371	.570	.346	2.76	.438	-.013	
= [COFECHA CED5 COF] =																

C – Cronologias Standard, Residual e Arstan

Tabela 03. Valores das cronologias geradas pelo programa ARSTAN (1971 – 2017)
(continua).

Ano	Standard	Residual	Arstan
1971	1,119	1,231	1,205
1972	0,897	0,887	0,879
1973	0,647	0,658	0,684
1974	0,918	1,02	0,961
1975	0,979	1,055	1,019
1976	1,273	1,204	1,23
1977	0,813	0,692	0,647
1978	1,078	1,151	1,109
1979	1,127	1,114	1,071
1980	0,974	0,861	0,925
1981	1,491	1,495	1,482
1982	1,04	0,799	0,772
1983	0,659	0,597	0,664
1984	0,829	1,012	0,956
1985	1,245	1,313	1,342
1986	0,844	0,767	0,833
1987	1,081	1,117	1,07
1988	0,945	0,885	0,802
1989	1,214	1,206	1,252
1990	1,383	1,324	1,34
1991	1,064	0,817	0,85
1992	1,212	1,102	1,103
1993	0,82	0,882	0,86
1994	1,223	1,227	1,32
1995	1,32	1,148	1,172
1996	1,265	1,102	1,139
1997	1,065	0,934	0,939
1998	0,837	0,929	0,955
1999	1,048	1,066	1,121
2000	1,078	1,098	1,145
2001	1,1	1,132	1,165
2002	0,893	0,779	0,78
2003	1,29	1,296	1,307
2004	1,222	1,109	1,13
2005	0,875	0,78	0,868
2006	1,072	1,2	1,189
2007	1,147	1,015	1,013
2008	1,252	1,226	1,314
2009	1,02	0,953	0,96
2010	0,715	0,664	0,699
2011	1,078	1,224	1,223

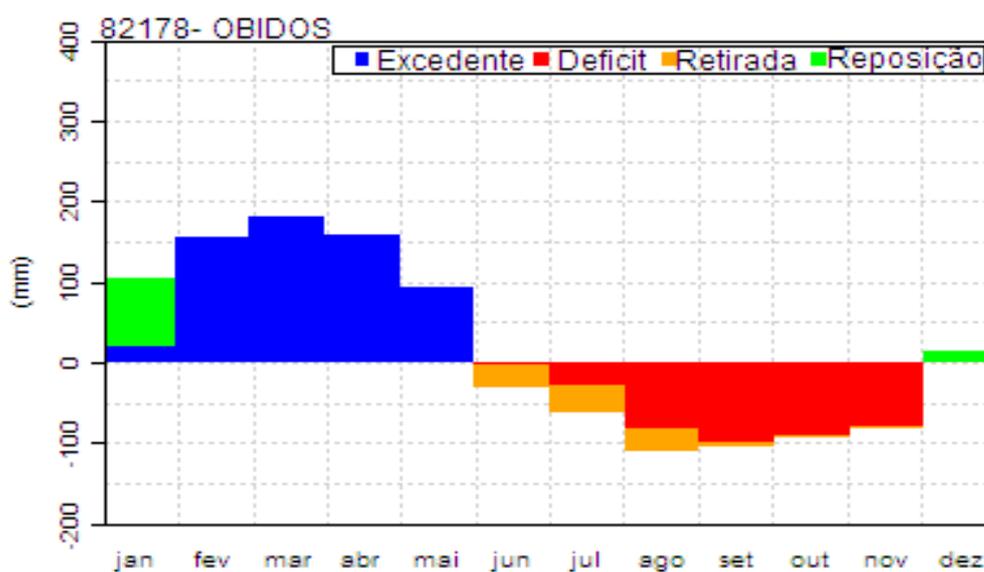
Tabela 4. Continuação.

2012	1,178	1,16	1,186
2013	0,781	0,754	0,838
2014	1,077	1,248	1,205
2015	0,805	0,841	0,812
2016	1,018	1,098	1,176
2017	0,775	0,762	0,748

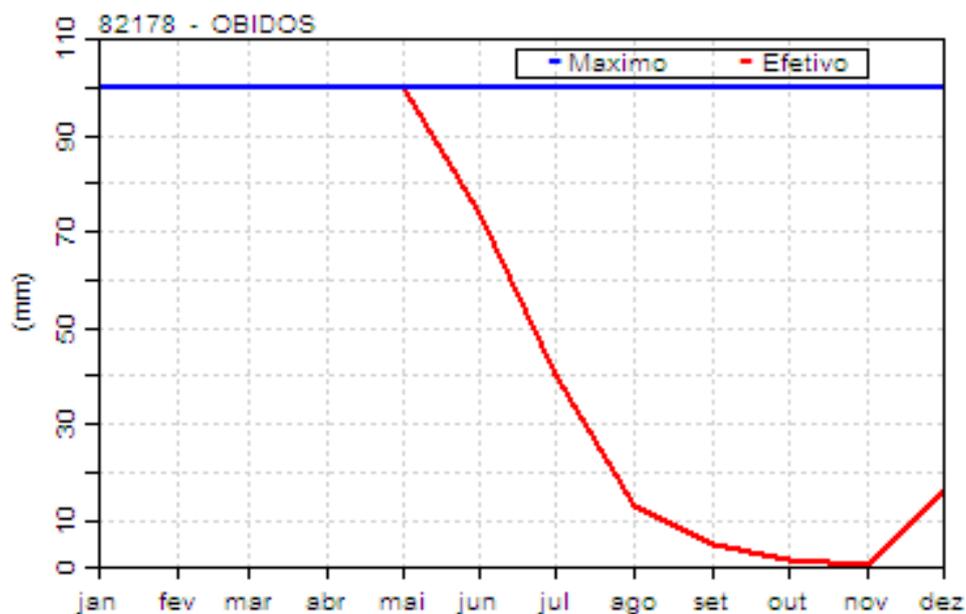
ANEXOS

A – Balanço Hídrico do solo para o município de Óbidos-PA

1 - Balanço hídrico climatológico para o município de Óbidos-PA, considerando a série histórica de dados meteorológicos de 1961 a 1990.



2 - Armazenamento de água no solo, considerando a série histórica de dados meteorológicos de 1961 a 1990.



B - Identificação das amostras/ PMFS

Quadro 2. Identificação das amostras – Fazenda Elizabete

FAZENDA ELIZABETE - GLEBA XIRIRI - ÓBIDOS - PA					
APAT: 374/2018					
CAR: Registro no CAR: 207232/2015					
AUTEF: 273207/2018			LAR: 13037/2018		
DETENTOR: ALINE OLIVEIRA GONDIM					
Nº DA ÁRVORE	UT	ESPÉCIE	ÁRVORE AUTORIZADA	LATITUDE	LONGITUDE
6861	10	CEDRO	ABATE	-01 28' 13,38240"	-55 35' 28,56840"
8960	14	CEDRO	ABATE	-01 27' 56,66760"	-55 36' 52,25040"
9366	14	CEDRO	ABATE	-01 28' 03,57960"	-55 36' 22,08600"
7041	11	CEDRO	ABATE	-01 28' 02,89560"	-55 36' 03,87720"
7173	11	CEDRO	ABATE	-01 28' 11,82720"	-55 36' 11,22120"
7178	11	CEDRO	ABATE	-01 28' 10,40880"	-55 36' 13,33800"
7388	11	CEDRO	ABATE	-01 28' 19,83874"	-55 36' 19,86429"

Quadro 3. Identificação das amostras – Fazenda Afelândia

FAZENDA AFELÂNDIA - GLEBA XIRIRI - ÓBIDOS - PA					
APAT: 401/2018					
CAR: Registro no CAR: PA-1505106-5E7F.22D0.4AA2.4FA0. 8FAE. F0FB.4BE9.89FD					
AUTEF: 273229/2018			LAR: 13071/2018		
DETENTOR: STENIO OLIVEIRA GONDIM					
Nº DA ÁRVORE	UT	ESPÉCIES	ÁRVORE AUTORIZADA	LATITUDE	LONGITUDE
691	1	CEDRO	ABATE	-01 29' 44,85328"	-55 35' 23,68401"
748	1	CEDRO	ABATE	-01 29' 48,35570"	-55 35' 25,02592"
1160	2	CEDRO	ABATE	-01 29' 27,69720"	-55 35' 14,15760"