UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

ANSELMO JUNIOR CORRÊA ARAUJO

DENDROCRONOLOGIA E CORRELAÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (LECYTHIDACEAE) OCORRENTES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PA

SANTARÉM - PA

2020

ANSELMO JUNIOR CORRÊA ARAÚJO

DENDROCRONOLOGIA E CORRELAÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (LECYTHIDACEAE) OCORRENTES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na área de concentração de Processos de Interação da Biosfera e Atmosfera junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.
Orientador: Prof. Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior – Embrapa Amazônia Oriental; Coorientador: Victor Hugo Pereira Moutinho

SANTARÉM - PA

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

A663d Araújo, Anselmo Junior Corrêa

Dendrocronologia e correlação climática de árvores de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae) ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós. / Anselmo Junior Corrêa Araújo. – Santarém, 2020.

59 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Raimundo Cosme de Oliveira

Coorientador: Victor Hugo Pereira Moutinho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia.

1. Mudanças climáticas. 2. Anéis de crescimento. 3. Castanheira-do-Brasil. I. Oliveira, Raimundo Cosme de, *orient*. II. Moutinho, Victor Hugo Pereira, *coorient*. III Título.

CDD: 23 ed. 634.9098115

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

ANSELMO JUNIOR CORRÊA ARAÚJO

DENDROCRONOLOGIA E CORRELAÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (LECYTHIDACEAE) OCORRENTES NA FLONA TAPAJÓS, PA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na área de concentração de Processos de Interação da Biosfera e Atmosfera junto ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais da Amazônia.
Orientador: Prof. Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior – Embrapa Amazônia Oriental; Coorientador: Victor Hugo Pereira Moutinho

Conceito:

Data de aprovação: 28/02/2020

BANCA EXAMINADORA

Presidente/Orientador: Profº. Dr. Raimundo Cosme de Oliveira Junior
Embrapa Amazônia Oriental

Profª. Dra. Quêzia Leandro de Moura Guerreiro
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

Prof. Dr. Troy Patrick Beldini
Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA

Dr. Mauro Brum Monteiro Junior
University of Arizona

Ao meu pai (*in memorian*) e minha mãe.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força para realizar este trabalho.

À minha família, por se fazer presente e não medir esforços quando precisei de sua ajuda.

Ao meu orientador, Prof. Raimundo Cosme, por abrir suas portas quando mais precisei e pela confiança e compreensão.

Ao meu coorientador, Prof. Victor Moutinho, por sempre trazer as informações necessárias para a execução do trabalho e todo apoio.

À minha querida amiga, Wayka Preston, por todo suporte.

Aos colegas de trabalho José e Caio, por darem toda a força (literalmente) no andamento do trabalho.

Ao meu amigo Diego Lima, pela generosidade em compartilhar seu tempo e conhecimentos para que eu pudesse ter bases teóricas e técnicas para a realização deste trabalho. E também a minha amiga Ana Leandra que contribuiu em pesquisas bibliográficas e mensurações.

Por fim, às instituições que de alguma forma contribuíram com este trabalho: Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Embrapa Amazônia Oriental e o Centro Universitário Luterano de Santarém (CEULS/ULBRA).

"Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade através de muito trabalho."

Clarice Lispector

RESUMO

Não há estudos que investiguem a influência das mudanças climáticas sobre a *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. na região Oeste do Pará. Pesquisas voltadas para a dendrocronologia desta espécie apontam a anualidade da formação de seus anéis de crescimento, porém, essa característica pode variar de acordo com o ambiente no qual os espécimes estão localizadas e sua carga genética. O objetivo do presente estudo foi analisar a formação dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* para verificar a influência de variáveis climáticas sobre o seu crescimento. Para isso, foram selecionadas para a coleta 14 árvores da espécie, provenientes de um castanhal nativo localizado no Km 85 da BR 163, das quais foram retiradas de forma não-destrutiva três amostras (baguetas) para análise. As amostras passaram por secagem e polimento, com o intuito de torná-las aptas às análises macroscópicas, contagem e mensuração dos anéis de crescimento. As séries obtidas foram intercorrelacionadas e passaram por controle de qualidade no *software* COFECHA até o alcance da correlação crítica à 99% de confiança. As séries selecionadas foram correlacionadas com dados locais de temperatura média (ºC) e pluviosidade (mm) obtidos na estação meteorológica de Belterra/PA com o auxílio de pacotes do *software R*. A variação dos dados de temperatura da superfície do mar foram sobrepostos a cronologia máster obtida no COFECHA para a verificação das possíveis influência *do El Niño* - Oscilação Sul sobre o desenvolvimento da espécie. Verificou-se que a madeira de *Bertholletia excelsa* apresenta anéis de crescimento distintos que possibilitaram sua contagem e mensuração e o controle de qualidade das séries proporcionou uma intercorrelação significativa. A correlação com as variáveis climáticas locais indicou que a precipitação do mês de dezembro prévio influencia positivamente o crescimento da espécie e a temperatura afetou negativamente no mês de julho corrente. A cronologia máster apresentou, de modo geral, tendências de decréscimo nos anos após a ocorrência de *El Niño*. Portanto, conclui-se que o crescimento em diâmetro da população de *Bertholletia excelsa* avaliada responde às variações climáticas locais, bem como pode sofrer efeito negativo póstumo de secas induzidas por eventos de *El Niño*.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Anéis de crescimento. Castanheira-do-Brasil.

ABSTRACT

There are no studies that investigate the influence of climate change on *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.in the western region of Pará. Research focused on the dendrochronology of this species points to the annuality of the formation of its growth rings, however, this resource may vary according to the environment in which the methods are located and their genetic load. Therefore, this study aimed to analyze the formation of growth rings of *Bertholletia excelsa* to verify the influence of climatic variations on its growth. For that, they were selected to collect 14 trees of the species, from a native chestnut tree located at Km 85 of BR 163, from which three bottles (silhouettes) were removed non-destructively for analysis. Samples used for drying and polishing, in order to use chips for macroscopic analysis, counting and measuring growth rings. The series correlation and the quality control were performed in the COFECHA software until reaching the critical correlation at 99% level of confidence. The selected series were correlated with local temperature and precipitation data from the meteorological station of Belterra, PA with the support of R software packages. A variation of the sea surface temperature was superimposed on the master chronology given by COFECHA for verification of the possible influences of the *El Niño*-Southern Oscilation on the development of the species. It was found that the *Bertholletia excelsa* wood presents distinct growth rings that allows its counting and measurement and quality control of the series provided a significant intercorrelation. The correlation with the local climatic variables indicated that the previous December month positively affects the growth of the species and the temperature negatively affected in the current July month. The master chronology shows, in general, the decreasing trends in the years after the baby's occurrence. Therefore, it is concluded that the growth in the diameter of the population of *Bertholletia excelsa* responds to climate changes, and can affect negatively by drought induced by *El Niño* events.

Keywords: Climate change. Growth rings. Brazil nut tree.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aspectos macroscópicos dos anéis de crescimento observados em *Rhizophora mangle*. 16
Figura 2 - Estrutura dos anéis de crescimento de seis espécies madeireiras da floresta tropical da Amazônia boliviana.....17
Figura 3 -Seção transversal de *Piptadenia gonoacantha*. As setas indicam os limites das camadas de crescimento. Barra de escala: 1 mm.....19
Figura 4 - Comparação gráfica entre a cronologia regional de carvalho (linha cinza escuro) e a cronologia desenvolvida para as amostras de madeira do moinho (linha preta). 21
Figura 5 - Distribuição da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Os dados plotados no mapa são de Mori e Prance (1990).....23
Figura 6 - Características anatômicas do lenho de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. 25
Figura 7 – Mapa de localização da população de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. amostrada.....35
Figura 8 – Médias mensais de temperatura e precipitação médias registradas no período de 1973 a 2017 na estação meteorológica de Belterra, PA.....36
Figura 9 – Lenho de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. evidenciando a demarcação dos anéis de crescimento por diminuição da frequência de poros e parênquima (2A), a ocorrência de canais traumáticos (2B) e a demarcação por zona fibrosa (2C).....40
Figura 10 – Série cronológica do índice de espessura dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. compreendendo o período de 1943 a 2017.....42
Figura 11 – Coeficientes de correlação entre o crescimento dos indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. e os dados de temperatura e precipitação local de 1973 a 2017.....44
Figura 12 – Variação da temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical e a cronologia máster dos indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. de 1950 a 2017.....45

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Conjunto de séries cronológicas selecionadas a por meio das intercorrelações avaliadas no software COFECHA.....38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **12**
1.1 REVISÃO DE LITERATURA **13**
1.1.1 Dendrocronologia 13
1.1.2 A sazonalidade climática 14
1.1.3 Dendrocronologia de espécies tropicais 14
1.1.4 Estado da arte 15
1.1.4.1 Panorama de aplicação da dendrocronologia na América do Sul 15
1.1.4.2 Panorama de aplicação da dendrocronologia no âmbito internacional 19
1.1.5 A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.) 22
1.1.5.1 Características gerais da espécie 22
1.1.5.3 Dendrocronologia da castanheira-do-Brasil 25
1.2 OBJETIVOS **26**
1.2.1 Objetivo Geral 26
1.2.2 Objetivos Específicos 26
REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO **26**
CAPÍTULO 1 32
DENDROCRONOLOGIA E CORRELAÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (LECYTHIDACEAE) OCORRENTES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PA 32
INTRODUÇÃO 33
MATERIAL E MÉTODOS 34
RESULTADOS 38
DISCUSSÃO 45
CONCLUSÕES 51
REFERÊNCIAS 52

INTRODUÇÃO

Bertholletia excelsa Humb. e Bonpl. (Lecythidaceae) é uma espécie florestal nativa da região amazônica, conhecida como castanha-do-brasil. Possui característica emergente e, quando atinge maturidade, pode alcançar uma altura de 45 a 50 m, diâmetro à altura do peito (DAP) entre 1 a 3 m e diâmetro de copa entre 20 a 35 m. Produz frutos extremamente duros, globosos e funcionalmente indeiscentes, contendo de 10 a 25 sementes. A extração de seus frutos é uma das as atividades socioeconômicas mais importantes da Amazônia. A espécie fornece madeira de alta qualidade, porém, sua colheita é legalmente proibida no Brasil, Peru e Bolívia (PERES et al., 2003; GUARIGUATA et al., 2009; SCHONGART et al., 2015).

A castanheira-do-brasil geralmente cresce em grupos ou povoamentos, localmente conhecidos como castanhais, e antigas práticas agroecossistêmicas ameríndias podem ter moldado sua atual distribuição espacial (WADT et al., 2005; SCOLES e GRIBEL, 2011). Devido ao seu alto valor econômico, estudos investigaram aspectos de sua biologia, incluindo estruturas populacionais, genética de populações, germinação, regeneração e crescimento de plântulas, plantio de enriquecimento, estabelecimento de plantações, mecanismos de polinização e ecologia de dispersão (KAINER et al., 1999; SUJII et al., 2015; SCOLES et al., 2016)

A espécie, no entanto, no que diz respeito ao desenvolvimento de planos de manejo e conservação florestal sustentável, requer informações sobre a vida útil das árvores para determinar o efeito da remoção intensiva de sementes sobre a manutenção das populações e a disponibilidade futura de castanha-do-brasil, que é a única semente internacionalmente comercializada, coletada exclusivamente de florestas nativas (CLAY, 1997).

Atualmente, pesquisas baseadas em anéis de crescimento de árvores têm sido cada vez mais utilizadas em florestas tropicais, principalmente na Amazônia, para que se entenda a dinâmica de crescimento das espécies, contribuindo para determinação de práticas de manejo florestal (FICHTLER et al., 2003; BRIENEN e ZUIDEMA, 2006; LACERDA et al., 2013). Estudos realizados por Schongart et al. (2002) na várzea amazônica, contribuíram para determinação do diâmetro mínimo de corte e o ciclo de duração de crescimento das espécies estudadas, visto que, uma espécie pode responder de forma diferente às condições ou habitat em que está crescendo. Por esse motivo, o entendimento da dinâmica de crescimento de espécies arbóreas em condições naturais é importante para o manejo sustentável (MATTOS et al., 2011).

Entretanto, a legislação brasileira vigente não permite a colheita da madeira da castanheira-do-Brasil (BRASIL, 1994). Essa medida foi tomada em 1994 com o objetivo de

proteger a espécie, tendo em vista que a mesma estava sofrendo um processo de supressão e corria o risco de extinção. Desde então, transcorreram-se 25 anos, os quais são considerados pouco diante do ciclo de vida de uma espécie florestal, sendo necessário constantes estudos para verificação do desempenho dos indivíduos já existentes na data em que a legislação foi modificada e dos que se estabeleceram posteriormente.

Nesse contexto, os estudos dendrocronológicos surgem como ferramenta de auxílio a esse acompanhamento. Ademais, a dendrocronologia fornece informações mais precisas, uma vez que acessa dados de crescimento diretamente no lenho da árvore e possibilita a avaliação desta variável desde a fase inicial da vida do indivíduo. Além disso, esses estudos podem permitir uma análise da influência exercida pelas variáveis climáticas, como pluviosidade e temperatura (ROQUETTE et al., 2019) e suas oscilações sobre os castanhais nativos.

Portanto, a hipótese sustentada é de que eventos atípicos de seca e aumento de temperatura acarretam o decréscimo do crescimento em diâmetro das árvores. Todavia, o crescimento das árvores pode não ser afetado por tais intempéries ambientais, indicando a possível tolerância da espécie a gradientes climáticos.

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1.1 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, em que a dendroclimatologia é um ramo desta que estuda a influência dos eventos climáticos nesse contexto (GONÇALVES, 2007). 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., 2012; BRIDGE, 2012).

Mattos et al. (2011), realizaram uma extensa revisão sobre as aplicabilidades da dendrocronologia ao redor do mundo, e como resultados, evidenciaram a importância da aplicação desta ciência para o manejo florestal sustentável em zonas tropicais, devido cada espécie apresentar diferentes respostas às condições ambientais do *habitat* em que estão localizadas e a diversidade vegetal nas regiões dos trópicos requer cuidados. Harley et al. (2018) ao estudar o uso de dendrocronologia dos efeitos do fogo sobre a vegetação, concluíram que as camadas de crescimento são ferramentas poderosas para entender a ecologia do fogo. Além disso, acrescentam que estudos nesse âmbito ainda precisam ser aprofundados, pois ainda não se sabe a abrangência total das informações.

Neste sentido, nota-se grande aceitação da dendrocronologia no âmbito científico brasileiro e internacional, evidenciado pela diversidade de aplicações e desdobramentos da técnica em diferentes ecossistemas no mundo.

1.1.2 A sazonalidade climática

A precipitação é uma das variáveis mais importantes para a caracterização do clima, principalmente em regiões tropicais (SOUZA et al., 2009; GALVANI e LIMA, 2012). O planejamento das atividades agrícolas, bem como das atividades econômicas de determinada região é função da distribuição sazonal das chuvas.

Além disso, Farias et al. (2012) destacam que o conhecimento da climatologia de uma região permite entender as relações de ocorrência de eventos extremos, tais como períodos de chuvas intensas ou períodos de estiagem, uma vez que essas eventualidades alteram as características habituais de um local e interferem de maneira decisiva no comportamento da paisagem.

Nesse contexto, Davidson et al. (2012) apontam que a vegetação tem 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, emissão de gases biogênicos e de efeito estufa, entre tantas outras propriedades.

Além disso, os estudos de Arias (2011) permitem entender que as variáveis climáticas podem sofrer interferências da variação da temperatura da superfície do mar. Na Amazônia, temperaturas do Oceano Pacífico Tropical acima do normal ocasionam os eventos conhecidos como *El Niño*, os quais diminuem o volume de chuvas e aumentam a duração e intensidade das estiagens (MARENGO et al., 2011)

1.1.3 Dendrocronologia de espécies tropicais

Camadas de crescimento anuais em árvores tropicais já são relatados de 1927 na Indonésia e desde então em mais de 20 países, em inúmeras espécies arbóreas ao longo dos trópicos (WORBES, 2002). Mais de 35 estudos relataram a visibilidade dos anéis de árvores tropicais e muitos deles provaram que são formados anualmente. Não obstante, muitos autores afirmaram que as árvores tropicais não produzem anéis anuais de árvores (WHITMORE, 1998) ou enfatizam os problemas relativos ao uso de anéis de árvores tropicais, como a ocorrência de falsos anéis (BORMANN e BERLYN, 1981).

Entretanto, a anualidade de anéis de espécies arbóreas tropicais pode ser demarcada por inundações anuais (SCHONGART et al., 2002), pela variação sazonal na precipitação (BORCHERT, 1999), e possivelmente por ritmos internos de algumas espécies que ainda não foram identificados (PUMIJUMNONG e BUAJAN, 2013). Na maioria das áreas florestais não inundadas, a formação dos anéis é induzida pela ocorrência de uma estação seca anual de vários meses (DUNISCH et al., 2002). Devido a um déficit hídrico, as árvores tendem a apresentar um crescimento de diâmetro reduzido ou dormência cambial durante a estação seca, resultando na formação de um limite de crescimento distinto (WORBES, 1999).

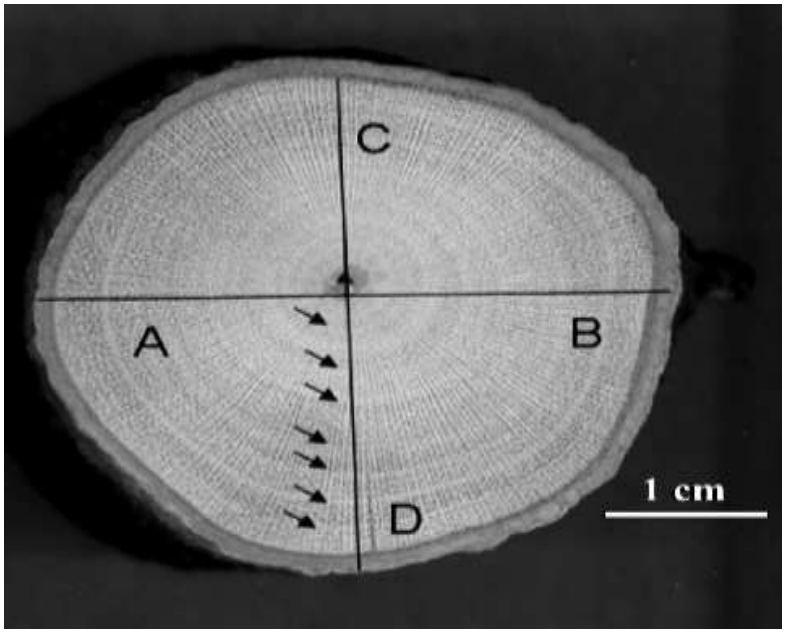
1.1.4 Estado da arte

1.1.4.1 Panorama de aplicação da dendrocronologia na América do Sul

As regiões de maiores índices de biodiversidade do planeta estão inseridas na América do Sul e isso implica em um esforço de trabalho maior em estudos primários da dendrocronologia das espécies, como a verificação da anualidade das camadas de crescimento. Souza et al. (2016) analisando a espécie *Rhizophora mangle* para a verificação da anualidade dos anéis de crescimento, identificaram que esta apresenta camadas de crescimento anuais em ambientes de alta sazonalidade. Assim, a questão norteadora desta pesquisa indaga a hipótese de haver ou não demarcação de camadas de crescimento anuais em espécimes localizadas em zonas de baixa sazonalidade. Um fator limitante para a anualidade das camadas de crescimento na área de estudo (Reserva Biológica de Guaratiba - RJ), foi a alta variabilidade interanual das condições climáticas.

Os autores em tal estudo identificaram camadas de crescimento macroscopicamente distintas por zona fibrosa e diferença na densidade de vasos (Figura 1). Além disso encontraram um fator de correlação de 0.94 ($p < 0.01$) entre as amostras de cada árvore, indicando que as camadas de crescimento de *Rhizophora mangle* são formadas anualmente também em regiões de baixa sazonalidade. Não foi verificada forte correlação entre o crescimento e as variáveis climáticas da região, contudo, os autores afirmam que a porção mais escura e com menor densidade de vasos das camadas são formadas no período chuvoso do ano (lenho juvenil) e as mais claras e com maior densidade de vasos são propiciadas por clima mais seco (lenho tardio). Os autores explicam ainda que a maior densidade de vasos no período seco se deve a uma estratégia da árvore de garantir a condução de água quando a mesma estiver sob déficit hídrico (SOUZA et al., 2016).

Figura 1 - Aspectos macroscópicos dos anéis de crescimento observados em *Rhizophora mangle.*

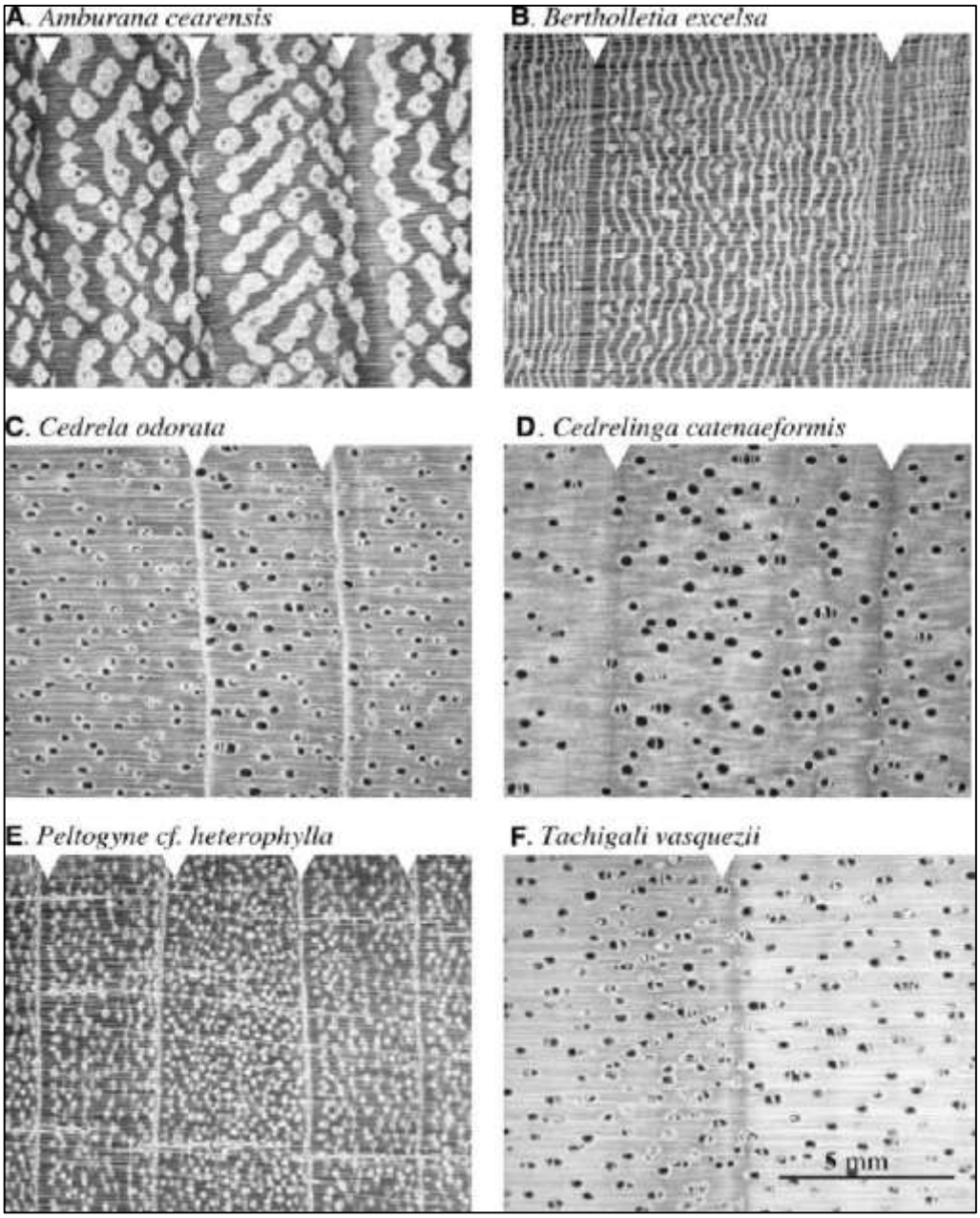


Fonte: Souza et al. (2016).

Na Amazônia peruana, Layme-Huaman et al. (2018) realizaram um estudo para identificar o potencial dendrocronológico e verificar a influência da temperatura e precipitação sobre as camadas de crescimento de *Cedrela nebulosa*. Dentre os resultados, os autores verificaram que as correlações mais baixas entre a cronologia da espécie e a temperatura foram nas últimas décadas. A explicação pode ser em função da maior flutuação de dados dessa variável climatológica nesses anos. Além disso, identificaram que a espécie é sensível as condições climáticas e como seu estudo foi pioneiro na região, ressaltam a necessidade de mais estudos exploratórios sobre a dendrocronologia de *Cedrela nebulosa.*

Brienen e Zuidema (2005) descrevem a regularidade de formação das camadas de crescimento de seis espécies madeireiras ocorrentes na porção boliviana da região amazônica e testou sua anualidade correlacionando as larguras dos anéis com padrões de precipitação por datação radiocarbono e contagem dos anéis em árvores de idade conhecida. Primeiramente, identificaram a distinção das camadas por meio de análise macroscópica (Figura 2). De forma semelhante a outros estudos, os autores também tiveram dificuldades devido à presença de falsos anéis, no entanto, confirmaram a anualidade da formação das camadas de crescimento destas espécies.

Figura 2 - Estrutura dos anéis de crescimento de seis espécies madeireiras da floresta tropical da Amazônia boliviana. As setas indicam os limites anuais do anel. A direção do crescimento é da esquerda para a direita.



Fonte: Brienen e Zuidema, 2005.

Estudo com árvores de *Euxylophora paraenses* de idade conhecida, provenientes de um plantio experimental no estado do Pará, objetivou identificar a distinção e a anualidade das camadas de crescimento desta espécie através de microdensitometria de raios-x em comparação com o método tradicional de contagem dos anéis de crescimento. Como resultado, os autores verificaram que a técnica alternativa foi tão eficiente quanto o método tradicional para finalidades dendrocronológicas (ANDRADE et al., 2017).

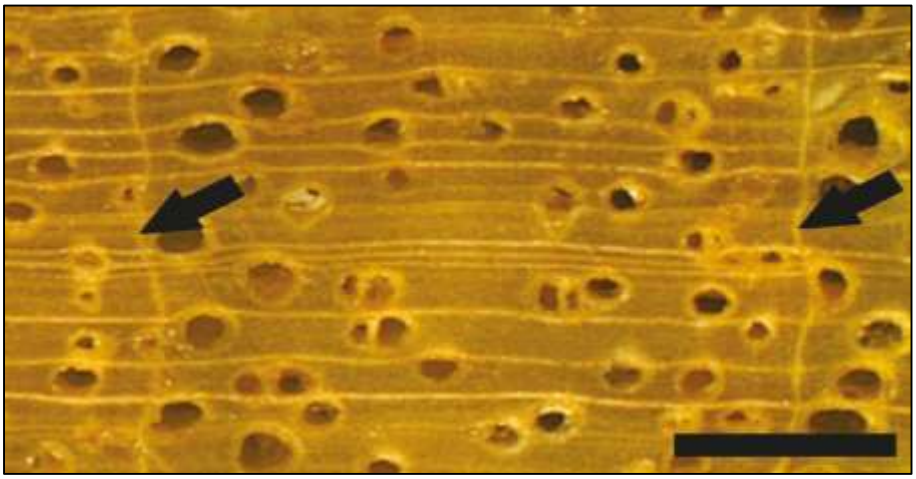
De forma semelhante, Miranda et al. (2018) também realizaram comparação do método dendrocronológico tradicional com métodos alternativos. A pesquisa comparou o método clássico e a datação por radiocarbono nas espécies *Qualea paraensis* e *Parkia pendula* na

Amazônia brasileira. Os autores ressaltam que ambas espécies apresentam camadas de crescimento distintas por meio de diferentes características. As camadas de *Q. paraenses* puderam ser diferenciadas pela diferença na densidade da madeira e por canais secretores que se formam nos limites de alguns anéis, enquanto na espécie *P. pendula* foram por parênquima marginal e zonas fibrosas, permitindo uma contagem mais fácil em relação a *Q. paraenses*.

Como resultado principal, verificaram que o uso da datação por radiocarbono evita 10% de erro inerente ao método dendrocronológico clássico, os quais ocorrem devido a ocorrência de falsos anéis ou anéis não identificados. Além disso, apontaram *P. pendula* e *Q. paraenses* como espécies de crescimento mais rápido que muitas outras espécies tropicais, podendo ser submetidas a ciclos de corte inferiores aos definidos na legislação brasileira (MIRANDA et al., 2018). Outro estudo, por meio da técnica de dendrocronologia com indivíduos coletados em uma reserva legal no bioma Cerrado, extraiu resultados referentes a taxa de crescimento de árvores que não estavam sob monitoramento (GASPAR et al., 2016).

Brandes et al. (2016) em um estudo realizado para verificar a periodicidade da formação de anéis de crescimento de *Piptadenia gonoacantha*, em um plantio de idade conhecida, verificaram que seus anéis de crescimento são demarcados por anéis semi-porosos, parênquima marginal e zona fibrosa (Figura 3). Essa particularidade facilita a realização de estudos dendrocronológicos para a espécie, contudo, as amostras foram coletadas em região com clima tropical (Reserva Biológica Poço das Antas - RJ), em floresta do tipo Ombrófila Densa. A heterogeneidade das condições climáticas modula irregularmente a formação das camadas de crescimento, bem como a formação de anéis não anuais e falsos anéis. Portanto, esse tipo de estudo se torna de grande relevância para espécies florestais nativas de zonas tropicais visando sua potencialidade para estudo de reconstrução climática.

Figura 3 - Seção transversal de Piptadenia gonoacantha. As setas indicam os limites das camadas de crescimento. Barra de escala: 1 mm.



Fonte: Brandes et al. (2016).

Em todas as amostras avaliadas foram encontradas 16 camadas de crescimento, condizendo precisamente com a idade do plantio, o que confirma a anualidade dos anéis de crescimento de *Piptadenia gonoacantha*. Os autores também encontraram que o incremento radial diminui à medida que a árvore se torna mais madura. Em sua discussão, os autores também encontraram que a espécie apresenta comportamento semelhante no que tange a formação de seus anéis de crescimento em diferentes tipos florestais onde ocorre (Floresta Ombrófila Densa e Floresta Semidecidual) (BRANDES et al., 2016). Portanto, independente das condições do local, tais como tipo de solo, temperatura média e volume de precipitação, a formação das camadas de crescimento ocorrerá de maneira similar para esta espécie.

1.1.4.2 Panorama de aplicação da dendrocronologia no âmbito internacional

Siddiqui et al. (2013) realizaram estudos com o objetivo de determinar a idade e a taxa de crescimento de cinco espécies coníferas: *Pinus wallichiana*, *Abies pindrow*, *Cedrus deodara*, *Picea smithiana* e *Taxus fuana*. Essas informações serviram como base para encontrar as relações diâmetro/idade, diâmetro/taxa de crescimento e idade/taxa de crescimento. Além disso, buscaram relações entre a taxa de crescimento das árvores com nutrientes do solo, fatores edáficos e topográficos. Como resultado, encontraram que parte das espécies analisadas há baixa relação entre o diâmetro da árvore e a sua idade, enquanto para outras há alta correlação, como por exemplo para a espécie *Cedrus deodara* (correlação de 0.91). Seguindo essa premissa, os autores concordam que o diâmetro é um indicador pouco confiável para inferências sobre a idade das árvores, pois essa relação se apresenta de forma heterogênea entre as espécies e pode

ser influenciada por condições ambientais. Resultados semelhantes foram encontrados para as outras correlações entre o diâmetro, idade e taxa de crescimento da árvore.

Para as correlações com nutrientes do solo, fatores edáficos e topográficos, foram consideradas apenas as espécies *Pinus wallichiana*, *Abies pindrow* e *Cedrus deodara* devido à não adequação dos dados das outras espécies. Nesse caso, não encontraram relação entre nenhum nutriente do solo e taxa de crescimento das espécies *Pinus wallichiana* e *Abies pindrow*, sendo que o único coeficiente significativo encontrado foi entre a taxa de crescimento de *Cedrus deodara* e o teor de nitrogênio do solo (-0.4271, $p < 0.1$). No que toca os fatores edáficos, *Pinus wallichiana* e *Cedrus deodara* não apresentaram nenhuma correlação significativa, enquanto que para *Abies pindrow* foram observadas correlações negativas entre a taxa de crescimento e os fatores salinidade, sais dissolvidos totais e capacidade de retenção de água, indicando que o a taxa de crescimento em diâmetro dessa espécie pode ser limitada por esses fatores. Para os fatores topográficos, nenhuma espécie apresentou relação entre estes e sua taxa de crescimento (SIDDIQUI et al., 2013).

Trotsiuk et al. (2018) analisaram a eficácia de quatro métodos utilizados na detecção de distúrbios passados em anéis de crescimento: incremento radial médio, *boundary line*, crescimento absoluto e série temporal. Para efeito de comparação, os métodos foram aplicados em dados provenientes de florestas onde as árvores foram submetidas à um experimento que simula o efeito de um furacão e em dados de uma floresta sem distúrbios significativos. Como resultado obtiveram que o incremento radial médio e o crescimento absoluto foram os métodos mais sensíveis ao identificar os efeitos do furacão sobre a vegetação arbórea.

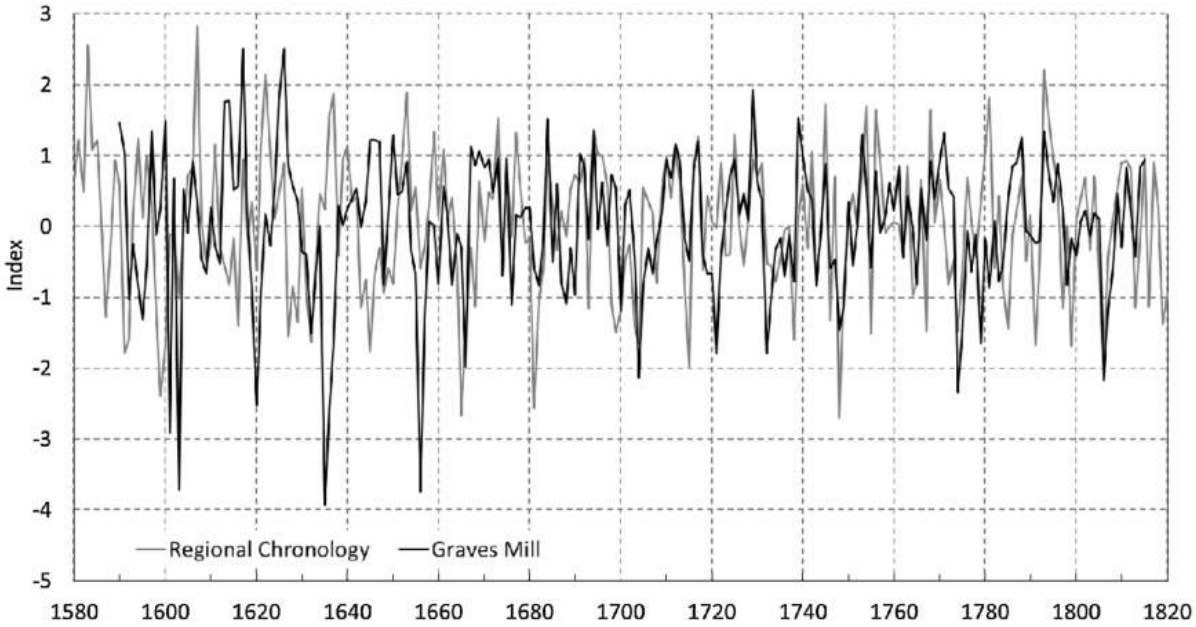
Os autores também detectaram que esses dois métodos apresentaram menores níveis de erro. Dentre os métodos testados, incremento radial médio requer a menor quantidade de informação enquanto retorna resultados razoavelmente precisos. O método de séries temporais é o único que produz informações adicionais sobre a magnitude e a duração dos eventos.

Além de usos com finalidade puramente ecológica, existem aplicações com discussão mais ampla sobre a formação de camadas de crescimento em árvores. Druckenbrod et al. (2017) utilizaram o conceito de dendroarqueologia, que busca encontrar sinais de ações antrópicas pontuais, como fertilidade do solo e erosão, em anéis de crescimento de árvores. Os autores realizaram a amostragem em um moinho construído em partes com madeira rústica (toras inteiras). Essas estruturas existem há décadas e a madeira com a qual foram construídas datam centenas de anos antes desse período e por isso se tornam uma fonte confiável para a reconstrução dos eventos ocorridos em longo prazo, captando de forma mais precisa o recorte temporal de interesse dos autores, uma vez que a vegetação atualmente presente no local

apresenta idade relativamente jovem. Como um dos principais resultados, os autores puderam verificar que o crescimento em diâmetro das árvores na região de estudo foi significativamente modificado a partir de mudanças de tecnologias agrícolas e uso da terra que ocorreram entre 1590 e 1670.

A Figura 4 mostra a sobreposição da linha cronológica regional (obtidas com dendrocronologia de carvalhos) com a linha cronológica obtida a partir da análise das amostras coletadas no moinho. A comparação deixa claro que o crescimento da madeira que foi utilizada para a construção da estrutura foi influenciado pelas atividades antrópicas.

Figura 4 - Comparação gráfica entre a cronologia regional de carvalho (linha cinza escuro) e a cronologia desenvolvida para as amostras de madeira do moinho (linha preta).



Fonte: Druckenbrod et al. (2017).

Por outro lado, Heer et al. (2018) realizaram pesquisa associando genética à dendrocronologia. O universo amostral utilizado pelos autores foi uma floresta da espécie *Abies alba*, localizada no Parque Florestal Nacional da Bavária, Alemanha. Nas décadas de 1970 e 1980 em todo a Europa houve um fenômeno ambiental marcado pela alta mortalidade de árvores e redução do crescimento de parte dos indivíduos remanescentes. Esses acontecimentos foram atribuídos a secas e alto nível de poluição (principalmente por SO_2) que atingiram o continente nesse período. A espécie *Abies alba* foi escolhida para esse estudo por ser apontada como a que se apresentou mais sensível às condições ambientais adversas. Portanto, a hipótese testada nessa pesquisa foi a existência ou não de genes de resistência nas árvores que toleraram a seca e as condições de poluição do ar.

As características das camadas de crescimento foram denominadas pelos autores como dendrofenótipos, considerando que estas foram condicionadas por uma associação de vários genes. Para encontrar a relação genética entre o fenótipo e o genótipo dos indivíduos, os autores lançaram mão do uso de *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP). Cada SNP utilizado no estudo se relaciona com uma proteína de determinada função no organismo vegetal. Como exemplo disto tem-se a proteína de transporte de argnina mitocondrial, a qual exerce influência sobre a respostas aos estresses e foi associada ao dendrofenótipo de tolerância de déficit hídrico, ou seja, mesmo em condições de baixa disponibilidade de água os anéis de crescimento de *Abies alba* continuaram com o mesmo incremento. A partir disso, os autores puderam concluir que com as informações reveladas pelos SNP's e dendrofenótipos, podem realizar a seleção de indivíduos com características desejáveis, garantindo a flexibilidade da espécie a diferentes condições ambientais (HEER et al., 2018).

Kerr et al. (2018) realizaram uma pesquisa com o intuito de investigar a influência de queimadas ocorridas na Costa Rica sobre as camadas de crescimento de *Hypericum irazuense*. A espécie apresenta anéis distintos, contudo, pode apresentar falsos anéis, os quais são formados entre os anéis correspondentes aos seus respectivos anos de formação. Assim, os autores objetivaram descobrir se os espécimes coletados apresentam camadas de crescimento visíveis e úteis para estudos sobre o efeito do fogo na região estudada.

Como resultado os autores observaram que as camadas de crescimento de *Hypericum irazuense* apresentaram padrões úteis para estimar o tempo mínimo desde o último incêndio. Esta técnica pode fornecer uma maneira de determinar a idade de um incêndio para o qual não existem registros ou observações e para identificar o perímetro de queima de um incêndio de idade conhecida, mas de extensão incerta (KERR et al., 2018).

Portanto, fica clara a evolução da dendrocronologia como ciência em todo o mundo e que esta passou a servir como ferramenta de investigação em diversas áreas (GONÇALVES, 2007). Admite-se ainda a possibilidade de um direcionamento mais aprofundado em estudos ainda não abordados sobre ecologia, avaliação ou resposta de atividades silviculturais, e a reconstrução de eventos climáticos (ALVARADO, 2010).

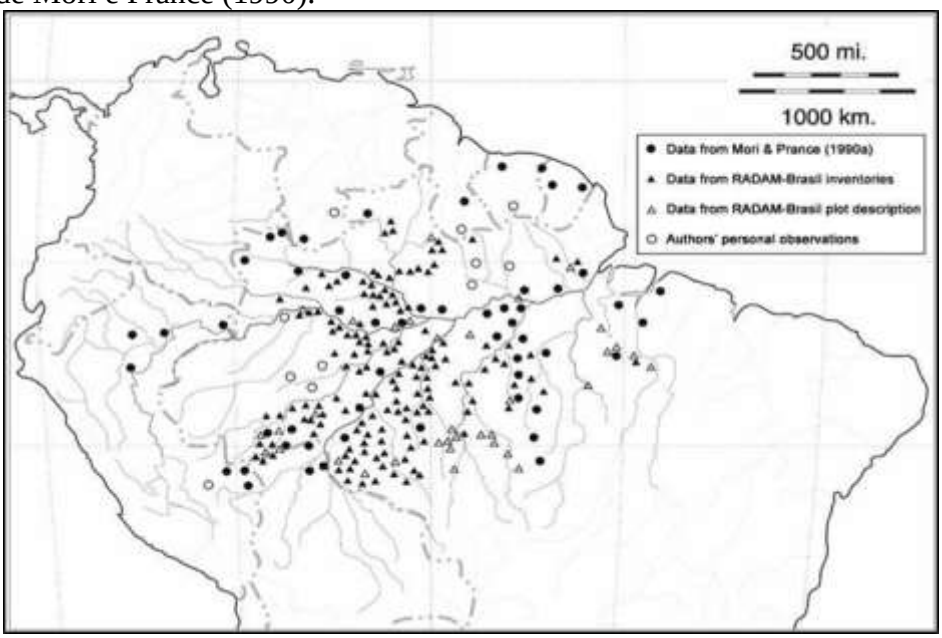
1.1.5 A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.)

1.1.5.1 Características gerais da espécie

Árvore de grande porte, pertencente à família Lecythidaceae, *Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl. é nativa do Brasil e sua ocorrência é predominante nos estados da região Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima) e Centro-oeste (Mato

Grosso) do país (SMITH et al., 2015) (Figura 5). Entretanto, também é encontrada em outros países da América Latina, tais como Peru e Bolívia (GUARIGUATA et al., 2009). O tronco da espécie se apresenta cilíndrico, retilíneo, com casca escura e fendida. Alcança 50 m de altura, DAP maior que dois metros em floresta primária e presenta longevidade de centenas de anos (SOUZA e WADT, 2008). Almeida (1963) descreve que a castanheira-do-Brasil se desenvolve em áreas com temperatura média entre 24,3 °C e 27,2 °C, precipitação anual de 1.400mm a 2.800mm e umidade relativa do ar de 79% a 86%.

Figura 5 - Distribuição da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). Os dados plotados no mapa são de Mori e Prance (1990).



Fonte: RADAM-Brasil (1973–1981) e Shepard e Ramirez (2011).

Tonini (2011) ao avaliar a fenologia da castanheira-do-Brasil em três anos consecutivos, descreve sua floração como anual e extensa, ocorrendo no período do ano de menor pluviosidade, e sua frutificação pode durar até 10 meses. Contudo, de acordo com Wadt e Kainer (2009), a fenologia dessa espécie é fortemente influenciada pelas condições climáticas locais e pode variar no período do ano em que os estágios ocorrem, bem como sua duração. A sua floração ocorre entre novembro e janeiro nas localidades do sudeste da Amazônia (Acre, Rondônia, Bolívia e Peru) e nas proximidades de Belém (PA) ocorre entre os meses de agosto e novembro. A dispersão dos frutos é zoocórica, realizada principalmente por roedores como *Dasyprocta leporina* (cotia) e acontece em curtas distâncias (PERES e BAIDER, 1997).

Costa et al. (2017) ao estudar as exigências nutritivas de um castanhal localizado no estado de Roraima, concluíram que a espécie apresenta alta demanda de cálcio (Ca). Além

disso, identificaram que as árvores mais produtivas removem mais bases trocáveis do solo e contribuem para sua acidificação, chamando atenção para necessidades de tratos culturais e enriquecimento com resíduos de poda, principalmente castanhais nativos onde se pratica o extrativismo ou em plantios. Ferreira et al. (2012), indicam a adubação verde como uma alternativa para a espécie, visto que plantas jovens da espécie apresentam melhores desempenhos fisiológicos com este tratamento.

Em relação ao desenvolvimento de mudas da espécie, Scoles et al. (2011) verificaram que *B. excelsa* apresenta alto potencial para uso em reflorestamentos e recuperação de áreas degradadas, devido, principalmente, apresentar grande índice de sobrevivência em diferentes ambientes, como roçado e capoeira. Além disso, Bentes-Gama et al. (2005) ao realizarem análises econômicas, identificaram que sistemas agroflorestais que incluem a castanheira-do-Brasil na sua composição apresentam melhores resultados, o que pode ser atribuído ao valor dos produtos oriundos da espécie.

Por fim, em linhas gerais, Chaves (2007) aponta a castanheira-do-Brasil como uma espécie de grande relevância social, podendo ser usada para o extrativismo das amêndoas, uso da madeira (moderadamente pesada com densidade básica de 700 $kg.m^{-3}$ a 750 $kg.m^{-3}$, macia ao corte, grã direita e boa resistência ao ataque de agentes xilófagos) produzida em plantios, e também, como já citado, importante para recuperação de áreas degradadas.

1.1.5.2 Anatomia da madeira de castanheira-do-Brasil

Lens et al. (2007) realizaram a caracterização anatômica da madeira de 71 espécies da família Lecythidaceae e descrevem *Bertholletia excelsa* com hábito emergente, sem perfurações escalariformes, diâmetro tangencial dos vasos em média de 210 µm, densidade de vasos de 4 mm^2, elementos de vaso com comprimento de 435 µm, comprimento das fibras de 1615 µm, raios multiseriados com 4 a 5 células, altura de 550 µm e densidade de 6 a 9 por mm.

Latorraca et al. (2018) descrevem macroscopicamente a espécie como portadora de cerne e alburno distintos, odor não característico, gosto indistinto, textura média a grossa, grã direita e brilho não contrastado. O parênquima axial é visível sem o auxílio de lente e se apresenta em faixas regularmente espaçadas, formando parênquima reticulado. Os raios também são visíveis sem auxílio de lente nos planos transversal e longitudinal tangencial, pouco contrastados no plano longitudinal radial, finos, poucos a numerosos e não estratificados. Vasos visíveis a olho nu, grandes, poucos, porosidade difusa, predominantemente solitários e múltiplos radiais (dois a cinco vasos), obstruídos por tiloses. As camadas de crescimento são

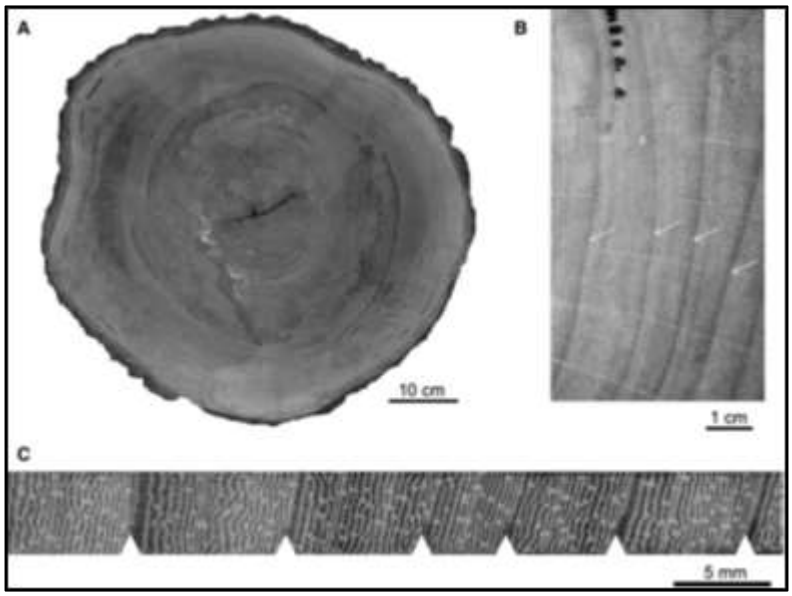
demarcadas por zonas fibrosas e devido ao afastamento das linhas do parênquima axial reticulado.

1.1.5.3 Dendrocronologia da castanheira-do-Brasil

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é protegida por legislação, portanto, populações nativas desta espécie não podem ser legalmente manejadas (BRASIL, 2006). Isso pode ser considerado um fator limitante para a obtenção de amostras de sua madeira, uma vez que a coleta de discos do fuste da espécie não é viabilizada, exceto quando as árvores são provenientes de plantios. Assim, para estudos dendrocronológicos de populações nativas de castanheira-do-Brasil, as amostras devem ser obtidas de forma não destrutiva.

Schongart et al. (2015) realizaram estudo com indivíduos de castanheira-do-Brasil oriundos de plantio de idade conhecida e identificaram características potenciais para a aplicação de estudos dendrocronológicos, pois os espécimes apresentaram demarcação de seus anéis de crescimento (Figura 6) e formação anual. Brienen e Zuidema (2005) também comprovaram a anualidade das camadas de crescimento da castanheira-do-Brasil dentre outras espécies de zona tropical. Latorraca et al. (2018) descreve a castanheira-do-Brasil como espécie com camadas de crescimento delimitadas por zona fibrosa devido ao afastamento das linhas de parênquima axial.

Figura 6 - Características anatômicas do lenho de Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl.



Fonte: Schöngart et al. (2015).

Associando dendrocronologia à antropologia, Andrade et al. (2019) relacionaram as camadas de crescimento da castanheira-do-Brasil com informações antropológicas como as

mudanças na política, economia e demografia na região de um castanhal nativo próximo ao lago Purupuru, localizado cerca de 30 km ao sul de Manaus. Enfatiza-se que as populações indígenas contribuíam para a preservação e desenvolvimento das castanheiras-do-Brasil. O crescimento da colônia portuguesa no final do século XVII e início do século XVIII gerou intensos conflitos com as populações nativas devido a diferenças políticas e religiosas, causando seu declínio.

Os autores também citam o ciclo da borracha no século XIX e XX como um momento social de forte influência na região e que pode ter deixado registros no crescimento dos indivíduos. Os resultados mostraram que os pulsos de imigração e mudanças demográficas coincidem com flutuações no recrutamento de árvores. Houve também redução nas camadas de crescimento da espécie no período de 1860 a 1910, o que também pode estar ligado a impactos sociais que a influenciaram diretamente, uma vez que as populações indígenas aplicavam à sua maneira tratos silviculturais nas florestas nativas (ANDRADE et al., 2019).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a formação dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl. ocorrentes na Flona-Tapajós para verificar a influência de variáveis climáticas sobre o seu crescimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a formação das camadas de crescimento da madeira de indivíduos de *B. excelsa* da Floresta Nacional do Tapajós a fim de verificar sua anualidade e aptidão da espécie como indicador ambiental;
- Avaliar a influência da precipitação e temperatura local sobre as camadas de crescimento de *B. excelsa*;
- Verificar a resposta do crescimento de *B. excelsa* frente a fase positiva do *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS).

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, C. P. D. **Castanha do Pará:** sua exportação e importância na economia amazônica. 19 ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1963. 83 p.

ALVARADO, J. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; POLLITO, P. A. Z.; LOBÃO, M. S. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, Swietenia macrophylla, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis,** v. 38, n. 86, p. 171 - 179, jun. 2010.

ANDRADE, C. V. L.; FLORES, B. M.; LEVIS, C.; CLEMENT, C. R.; ROBERTS, P.; SCHÖNGART, J. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. **PLoS ONE**, v. 14, n. 4, p. e0214128, abr. 2019.

ANDRADE, E. S.; GARCIA, S. S. C.; ALBERNAZ, A. L. K. M.; TOMAZELLO FILLHO, M.; MOUTINHO, V. H. P. Growth ring analysis of Euxylophora paraensis through x-ray microdensitometry. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. e20150895, mar. 2017.

ARIAS, P. A, FU, R., HOYOS ,C. D, LI, W., ZHOU, L. Changes in cloudiness over the Amazon rainforests during the last two decades: diagnostic and potential causes. **Clim. Dynam.**, v. 37, p. 1151-1164, 2011.

BENTES-GAMA, M. de M.; SILVA, M. L. da; VILCAHUAMAN, L. J. M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, Machadinho d'Oeste - RO. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 401 - 411, jun. 2005.

BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **Iawa Journal,** v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.

BORMANN, F. H.; BERLYN, G. **Age and growth rate of tropical trees:** new directions for research. 94 ed. New Haven: Yale university, 1981. 137 p.

BRANDES, A. F. N. et al. Annual tree rings in *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. in a restoration experiment in the Atlantic Forest: potential for dendroecological research. **Acta Botanica Brasilica,** v. 30, n. 3, p. 1 - 6, 2016.

BRASIL. Decreto Federal nº 1.228, de 19 de outubro de 1994 [online]. Regulamenta os arts. 15, 19, 20 e 21 da Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa de Brasil**, Brasília, 20 out. 1994. Disponível em: http://presrepublica.jusbrasil.com. br/legislacao/109608/decreto-1282-94. Acesso em: 15 set. 2019.

BRIDGE, M. Locating the origins of wood resources: a review of dendroprovenancing. **Journal of Archaeological Science,** v. 39, n. 8, p. 2828 - 2834, ago. 2012.

BRIENEN, R. J. W. et al. Oxygen isotopes in tree rings are a good proxy for Amazon precipitation and El NinoSouthern Oscillation variability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 42, p. 16957 – 16962, 2012.

BRIENEN, 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,** v. 146, n. 1, p. 1 - 12, nov. 2005.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management,** v. 226, n. 3, p. 256-267, mai. 2006.

CHAVES, N. **Cultivo da castanha-do-brasil.** Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, Brasília, 2007. 23 p. (Dossiê Técnico).

CLAY, J. W. The use of a keystone species for conservation and development. In: FREESER, C. H. (eds). **Harvesting Wild Species:** Implications for Biodiversity Conservation. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1997. p. 246–282.

COSTA, M. G.; TONINI, H.; MENDES FILHO, P. Atributos do Solo Relacionados com a Produção da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*). **Floresta Ambiente**, v. 24, p. e20150042, 2017.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES; R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 1, p. 321-328, jan. 2012.

DRUCKENBROD, D. L. STACHOWIAK, L. A.; SCHNEIDER, E. A.; GRAVES, D. M.; GRISSINO-MAYER, R. D. Dendrochronological dating of the Graves Mill grist mill, Madison County, Virginia, USA. **Dendrochronologia,** v. 43, p. 27-32, apr. 2017.

DUNISCH, O.; BAUCH, J.; GASPAROTTO, L. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). **Iawa Journal,** v. 23, n. 2, p. 101-119, 2002.

FARIAS, R.F de L.; ALVES, K.M. A. da S.; NÓBREGA, R. S. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do sertão pernambucano. **Revista Geonorte**, v.1, n.5, p. 930-941, 2012.

FERREIRA, M. J.; GONCALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393 - 401, jun. 2012.

FICHTLER, E.; CLARK, D. A.; WORBES, M. Age and long-term growth of trees in an old-growth tropical rain forest, based on analyses of tree rings and C-14. **Biotropica,** v. 35, n. 3, p. 306 - 317, sep. 2003.

GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. **Climatologia Aplicada:** Resgate aos estudos caso. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2012. 192 p.

GASPAR, R. O.; LUSTOSA, JUNIOR, I. M.; RODRIGUES, M. I.; ARAÚJO, J. B. C. N.; LOBÃO, M. S. Using dendrochronology to growth analysis in diameter, volume, biomass and carbon dioxide in the Cerrado. **Nativa**, v. 4, n. 1, p. 48-52, 2016.

GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia:** princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Évora: CIDEHUS/Universidade de Évora, 2007. 16 p.

GUARIGUATA, M. R.; LICONA, J. C.; MOSTACEDO, B.; CRONKLETON, P. Damage to Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) during selective timber harvesting in Northern Bolivia. **Forest Ecology and Management,** v. 258, n. 5, p. 788-793, aug. 2009.

HARLEY, GRANT L.; BAISAN, C. H.; BROWN, P. M.; FALK, D. A.; FLATLEY, W. T.; GRISSINO-MAYER, H. D.; HESSL, A.; HEYERDAHL, E. K.; KAYE, M. W.; LAFON, C. W.; MARGOLIS, E. Q.; MAXWELL, R. S.; NAITO, A. T.; PLATT, W. J.; ROTHER, M. T.; SALADYGA, T.; SHERRIFF, R L.; STACHOWIAK, L. A.; STAMBAUGH, M. C.; SUTHERLAND, E. K.; TAYLOR, A. H. Advancing dendrochronological studies of fire in the United states. **Fire,** v. 1, n. 1, p. 1 – 6, apr. 2018.

HEER, K.; BEHRINGER, D.; PIERMATTEI, A.; BÄSSLER, C.; BRANDL, R.; FADY, B.; JEHL, H.;, LIEPELT, S.; LORCH, S.; PIOTTI, A.; VENDRAMIN, G. G.; WELLER, M.; ZIEGENHAGEN, B.; BÜNTGEN, U.; OPGENOORTH, L. Linking dendroecology and association genetics in natural populations: Stress responses archived in tree rings associate with SNP genotypes in silver fir (Abies alba Mill.). **Molecular Ecology**, v. 27, n. 6, p. 1428-1438, mar. 2018.

KAINER, K. A.; MALAVASI, M. D.; DURYEA, M. L.; SILVA, E. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) seed characteristics, preimbibition and germination. **Seed Science and Technology,** v. 27, n. 2, p. 731-745, 1999.

KERR, M. T.; HORN, S. P.; GRISSINO-MAYER, H. D.; STACHOWIAK, L. Annual growth zones in stems of *Hypericum irazuense* (Guttiferae) in the Costa Rican paramos. **Physical Geography,** v. 39, n. 1, p. 38-50, jun. 2018.

LACERDA, A. E. B.; NIMMO, E. R.; SEBBENN, A. M. Modeling the Long-Term Impacts of Logging on Genetic Diversity and Demography of Hymenaea courbaril. **Forest Science,** v. 59, n. 1, p. 15-26, feb. 2013.

LATORRACA, J. V. F.; CASTRO, J. P. C.; SANTOS, G. C. V. **Guia para identificação macroscópica de madeira**. 1 ed. Clube de autores, 2018. 78 p.

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, n. 1, p. 105-112, aug. 2018.

LENS, F.; BAAS, P.; JANSEN, S.; SMETS, E. A search for phylogenetically informative wood characters within Lecythidaceae s.l. **American Journal of Botany**, v. 94, n. 4, p. 483 – 502, apr. 2007.

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, p. 1-5, 2011. doi: 10.1029/2011GL047436

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. **Dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais** [online]. 21 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 37 p.

MIRANDA, D. L. C. HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; LATORRACA, J. V. F.; CARMO, J. F. DO; LIMA, A. J. N. Using radiocarbon-calibrated dendrochronology to improve tree-cutting cycle estimates for timber management in southern Amazon forests. **Trees**, v. 32, n. 587, p. 587 – 602, apr. 2018.

PERES, C. A.; BAIDER, C. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazilnut trees (Bertholletia excelsa) in southeastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology,** v. 13, n. 4, p. 595-616, jul. 1997.

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRANCIOSI, E. R.; CORNEJO, V. F.; GRIBEL, R.; SHEPARD, G. H. J.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science,** v. 302, n. 5653, p. 2112-2114, dec. 2003.

PUMIJUMNONG, N.; BUAJAN, S. Seasonal cambial activity of five tropical tree species in central Thailand. **Trees-Structure and Function,** v. 27, n. 2, p. 409-417, apr. 2013.

RADAM-Brasil. (1973–1981). **Levantamento de recursos naturais:** Geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra (22 v.). Rio de Janeiro: O Projeto, Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1974. 409 p.

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

SCHONGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JUNIOR, S. F.; HAUGAASEN, T. Age and Growth Patterns of Brazil Nut Trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica,** v. 47, n. 5, p. 550-558, sep. 2015.

SCHONGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology,** v. 18, n. 4, p. 581-597, jul. 2002.

SCOLES, R. CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e Frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em Áreas Desmatadas em Oriximiná, Pará. **Floresta Ambiente**, v. 23, n.4, p. 555-564, abr. 2016.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population Structure of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) Stands in Two Areas with Different Occupation Histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology,** v. 39, n. 4, p. 455 - 464, aug. 2011.

SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Nat.**, v. 6, n. 3, p. 273-293, dez. 2011.

SHEPARD, G. H.; RAMIREZ, H. "Made in Brazil": Human Dispersal of the Brazil Nut (Bertholletia excelsa, Lecythidaceae) in Ancient Amazonia. **Economic Botany,** v. 65, n. 1, p. 44-65, mar. 2011.

SIDDIQUI, M. F.; SHAUKAT, S. S.; AHMED, M.; KHAN, N.; KHAN, I. A. Age and growth rates of dominant conifers from moist temperate areas of Himalayan and Hindukush Region of Pakistan. **Pakistan Journal of Botany,** v. 45, n. 4, p. 1135-1147, aug. 2013.

SMITH, N. P.; MORI, S. A.; PRANCE, G. T. *Lecythidaceae* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23424. Acesso em: 08 out. 2019.

SOUZA, B. T.; ESTRADA, G. C. D.; SOARES, M. L. G.; CALLADO, C. H. Occurrence of annual growth rings in Rhizophora mangle in a region with low climate seasonality. **Anais Da Academia Brasileira De Ciencias,** v. 88, n. 1, p. 517-525, may. 2016.

SOUZA, E. B. de; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. de O.; AZEVEDO, V. C. R.; SOLFERINI, V. N. Genetic structure of Bertholletia excelsa populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics,** v. 16, n. 4, p. 955-964, aug. 2015.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 123-131, mar. 2011.

TROTSIUK, V.; PEDERSON, N.; DRUCKENBROD, D. L.; ORWIG, D. A.; BISHOP, D. A.; BARKER-PLOTKIN, A.; FRAVER, S.; MARTIN-BENITO, D. Testing the efficacy of tree-ring methods for detecting past disturbances. **Forest Ecology and Management,** v. 425, n. 1, p. 59-67, oct. 2018.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management,** v. 211, n. 3, p. 371-384, jun. 2005.

WADT, L. H. O; KAINER, K. A. Domesticação e melhoramento de castanheira. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (eds.). **Domesticação e melhoramento:** espécies amazônicas**.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. cap. 15, p. 297-317.

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests.** 2 ed. New York: Oxford University Press, 1998. 296 p.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology,** v. 87, n. 3, p. 391-403, jun. 1999.

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

CAPÍTULO 1 *
DENDROCRONOLOGIA E CORRELAÇÃO CLIMÁTICA DE ÁRVORES DE *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. (LECYTHIDACEAE) OCORRENTES NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, PA

Anselmo Junior Corrêa Araujo, Raimundo Cosme de Oliveira Junior e Victor Hugo Pereira Moutinho

RESUMO

Não há estudos que investiguem a influência das mudanças climáticas sobre *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.na região Oeste do Pará. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a formação dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* para verificar a influência de variáveis climáticas sobre o seu crescimento. Para isso, foram selecionadas 14 árvores da espécie, provenientes de um castanhal nativo localizado no Km 85 da BR 163. As séries obtidas a partir da contagem e mensuração dos anéis de crescimento foram intercorrelacionadas e passaram por controle de qualidade no software COFECHA até o alcance da correlação crítica à 99% de confiança. As séries selecionadas foram correlacionadas com dados locais de temperatura e pluviosidade com o auxílio de pacotes do software R. A variação dos dados de temperatura da superfície do mar foram sobrepostos a cronologia máster obtida no COFECHA para a verificação das possíveis influência do *El Niño*-Oscilação Sul sobre o desenvolvimento da espécie. A correlação com as variáveis climáticas locais indicou que a precipitação do mês de dezembro prévio influencia positivamente o crescimento da espécie e a temperatura afetou negativamente no mês de julho corrente. A cronologia máster apresentou, de modo geral, tendências de decréscimo nos anos após as ocorrências de *El Niño*. Portanto, conclui-se que o crescimento em diâmetro da população de *Bertholletia excelsa* avaliada responde às variações climáticas locais, bem como pode sofrer efeito negativo póstumo de secas induzidas por eventos de *El Niño*.

Palavras-chave: mudanças climáticas, anéis de crescimento, castanheira-do-Brasil

* Capítulo escrito de acordo com as normas do periódico Cerne (Versão impressa: ISSN 0104-7760 e Versão *On-line*: ISSN 2317-6342).
Link para as normas: http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/about/submissions. Após revisão, o mesmo será traduzido para língua inglesa e submetido ao periódico.

INTRODUÇÃO

Pesquisas baseadas em anéis de crescimento de árvores têm sido cada vez mais utilizadas em florestas tropicais, principalmente na Amazônia, para que se entenda a dinâmica de crescimento das espécies, contribuindo para determinação de práticas de manejo florestal (FICHTLER et al., 2003; BRIENEN e ZUIDEMA, 2006; LACERDA et al., 2013). Estudos realizados por Schongart et al. (2002) na várzea amazônica, contribuíram para determinação do diâmetro mínimo de corte e o ciclo de duração de crescimento das espécies estudadas, visto que, uma espécie pode responder de forma diferente às condições ou habitat em que está crescendo. Por esse motivo, o entendimento da dinâmica de crescimento de espécies arbóreas em condições naturais é importante para o manejo sustentável (MATTOS et al., 2011).

Neste sentido, pesquisas vêm sendo direcionados a espécies de florestas tropicais, em particular a castanheira-do-Brasil. Esta geralmente cresce em grupos ou povoamentos localmente conhecidos como castanhais, e antigas práticas agroecossistêmicas ameríndias podem ter moldado sua atual distribuição espacial (WADT et al., 2005; SCOLES e GRIBEL, 2011). Devido ao seu alto valor econômico, estudos investigaram aspectos de sua biologia, incluindo estruturas populacionais, genética de populações, germinação, regeneração e crescimento de plântulas, plantio de enriquecimento, estabelecimento de plantações, mecanismos de polinização e ecologia de dispersão (KAINER et al., 1999; SUJII et al., 2015; SCOLES et al., 2016).

Entretanto, a legislação brasileira vigente não permite a colheita da madeira da castanheira-do-Brasil (BRASIL, 1994). Essa medida foi tomada em 1994 com o objetivo de proteger a espécie, tendo em vista que a mesma estava sofrendo um processo de supressão e corria o risco de extinção. Desde então, transcorreram-se 25 anos, os quais são considerados pouco, diante do ciclo de vida de uma espécie florestal, sendo necessário constantes estudos para verificação do desempenho dos indivíduos já existentes na data em que a legislação foi modificada e dos que se estabeleceram posteriormente.

Poucas pesquisas baseadas em dendrocronologia da castanheira-do-Brasil foram realizadas ao longo dos últimos anos (SCHONGART et al., 2015; BRIENEN e ZUIDEMA, 2005; ANDRADE et al., 2019). Assim, dendrocronologia e correlação climática da castanheira-do-Brasil permite, pela primeira vez no Pará, reconstrução da influência do clima sobre esta espécie que já foi ameaçada de extinção. Além disso, contribui para a desmitificação da distinguibilidade e anualidade dos anéis de crescimento de espécies tropicais.

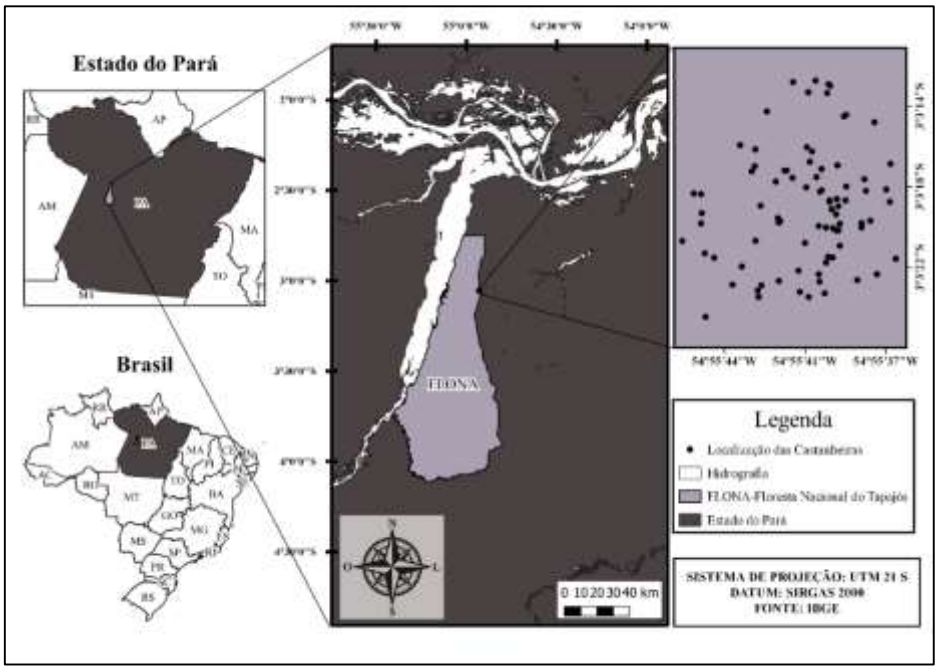
Portanto, o presente estudo objetivou analisar a formação dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. ocorrentes na Flona-Tapajós para verificar a influência de variáveis climáticas sobre o seu crescimento. A hipótese sustentada é de que eventos de seca e aumento de temperatura acarretam o decréscimo do crescimento em diâmetro das árvores.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécie florestal e descrição da área de estudo

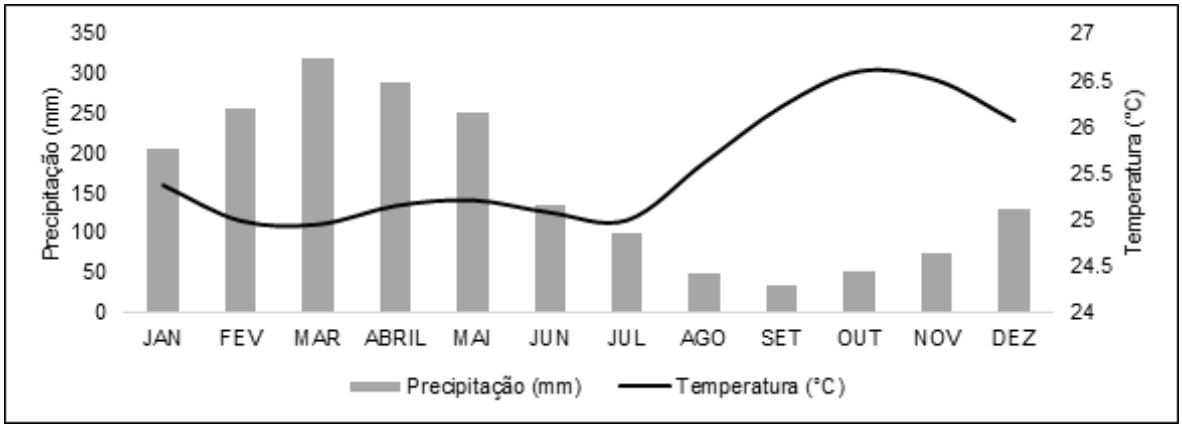
Os espécimes de castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) estudados neste trabalho situam-se em um castanhal nativo, localizado na Floresta Nacional do Tapajós, no Km 85 da BR 163 (Figura 7).

Figura 7 – Mapa de localização da população de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. amostrada.



Segundo a classificação de Köppen, utilizada por Martorano (1993), o estado do Pará está sob influência de três tipologias climáticas (Af, Am e Aw) e o mês mais seco possui uma média de precipitação inferior a 60 mm, para o tipo Am e Aw e para o tipo Af é igual ou superior a 60 mm. O nível pluviométrico anual varia de 2.000 mm a 3.000 mm distribuídos irregularmente, e um pequeno período seco. Porém, o mesmo autor chama atenção para a alta variabilidade espacial do clima no estado. De acordo com os registros de 1973 a 2017 da estação meteorológica de Belterra - Pará (Figura 8), o clima local se enquadra na classificação Am4, uma vez que o mês mais seco apresenta média de precipitação inferior a 60 mm e a precipitação média anual está entre 1500 mm e 2000 mm. O período seco se estende de julho a novembro, aproximadamente. De acordo com a denominação sugerida por Veloso (1991), a Floresta Nacional do Tapajós apresenta como tipologia predominantemente a Floresta Ombrófila Densa.

Figura 8 – Médias mensais de temperatura e precipitação médias registradas no período de 1973 a 2017 na estação meteorológica de Belterra, PA.



Amostragem e preparo das amostras

Da população de 92 castanheiras-do-Brasil inventariadas na área de estudo, foram selecionados 14 espécimes, dos quais, com auxílio de um trado motorizado, foram retiradas três amostras não destrutivas (baguetas) de cada. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar livre e fixadas em suportes. O polimento foi realizado com a sequência de lixas de granulometria 80, 100, 120, 180, 220 e 280, até se alcançar melhor visualização dos caracteres anatômicos macroscópicos da madeira.

Análise macroscópica dos anéis de crescimento

Com auxílio de microscópio estereoscópio, as características anatômicas macroscópicas das amostras foram analisadas para a demarcação do limite das camadas de crescimento, as quais foram manualmente demarcadas. Após a identificação e demarcação dos anéis de crescimento, as amostras foram digitalizadas em scanner de alta resolução (1200 dpi) e a espessura dos anéis foi medida com auxílio do software para análise de imagens, Pro Plus (Copyright © 1993-2001 Media Cybernetics, Inc.)

Análises estatísticas e correlação com as variáveis climáticas

Para verificar a precisão datada, todas as séries temporais de espessura dos anéis de crescimento passaram por controle de qualidade a partir dos padrões de sincronização

(princípio de datação cruzada "*cross dating*") com aplicação do programa COFECHA (STOKES e SMILEY, 1968) e, do total de séries das amostras coletadas, foi selecionado o conjunto que apresentou correlação igual ou superior ao valor de correlação crítica do COFECHA a 99% de confiança (0.3281). A partir do *software R* versão 3.6.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019) foi gerada a cronologia padrão dos espécimes com o pacote *dplR* (BUNN, 2010) e realizada a correlação com a precipitação e temperatura local por meio do pacote *treeclim* (ZANG e BIONDI, 2015).

Os dados meteorológicos de precipitação total mensal (mm) e a temperatura média do ar (°C) utilizados provém da estação meteorológica de Belterra-Pará, os quais compõem uma série histórica de janeiro do ano de 1973 a dezembro de 2017. Para a verificação da influência do *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), a cronologia máster foi sobreposta aos dados de variação da temperatura das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Tropical, obtidos na plataforma do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Após a utilização do software COFECHA e controle de qualidade, dos 14 indivíduos analisados foram selecionadas 17 series temporais de anéis de crescimento, pertencentes a sete indivíduos, variando de 35 a 75 anos. Esse resultado indica que do número inicial de árvores avaliadas, somente sete apresentam o mesmo padrão de crescimento. Tal pré-requisito é verificado por meio de correlações (Tabela 1) entre as séries de dados (espessura em mm) dos anéis de crescimento e a sensibilidade média. A média das intercorrelações deve apresentar valor superior ao de correlação crítica do COFECHA.

Tabela 1 – Conjunto de séries cronológicas selecionadas a por meio das intercorrelações avaliadas no software COFECHA.

Amostra	Extensão cronológica	Intercorrelação	Sensibilidade
A2305R1	1973-2017	0.621	0.429
A2305R2	1973-2017	0.372	0.312
A2305R3	1973-2017	0.430	0.376
A1701R3	1983-2017	0.065	0.544
A1706R2	1955-2017	0.211	0.406
A1706R3	1955-2017	0.161	0.425
A2221R1	1968-2017	0.256	0.678
A2221R2	1968-2017	0.435	0.647
A2221R3	1968-2017	0.226	0.587
A2304R1	1965-2017	0.216	0.445
A2304R2	1965-2017	0.332	0.485
A2309R1	1943-2017	0.225	0.309
A2309R2	1943-2017	0.360	0.320
A2309R3	1943-2017	0.380	0.324
A1704R1	1970-2017	0.406	0.497
A1704R2	1970-2017	0.451	0.492
A1704R3	1970-2017	0.529	0.452
Total ou média	75 anos	0.330	0.442
Correlação crítica COFECHA		0.3281	

RESULTADOS

Anatomia da madeira e demarcação das camadas de crescimento

A análise macroscópica da madeira de *Bertholletia excelsa* permitiu concluir que seus anéis de crescimento são distintos, visíveis à olho nu e que para melhor visualização é

necessário lente de aumento. Assim, foi possível a demarcação e contagem das camadas de crescimento.

A demarcação dos anéis foi definida pela menor frequência de poros e parênquima no limite entre os anéis (Figura 9A) e algumas camadas apresentaram ocorrência de canais traumáticos em seu início ou fim (Figura 9B). A marcação por zona fibrosa mostrou-se mais evidente em algumas regiões do lenho (Figura 9C), sendo impossível utilizá-la como referência em alguns seguimentos da madeira. A identificação de falsos anéis foi difícil devido as amostras serem baguetas e não permitirem o acompanhamento dos anéis em volta de toda a circunferência da árvore, porém, estes foram verificados a partir da comparação das características do anel entre os raios de cada árvore.

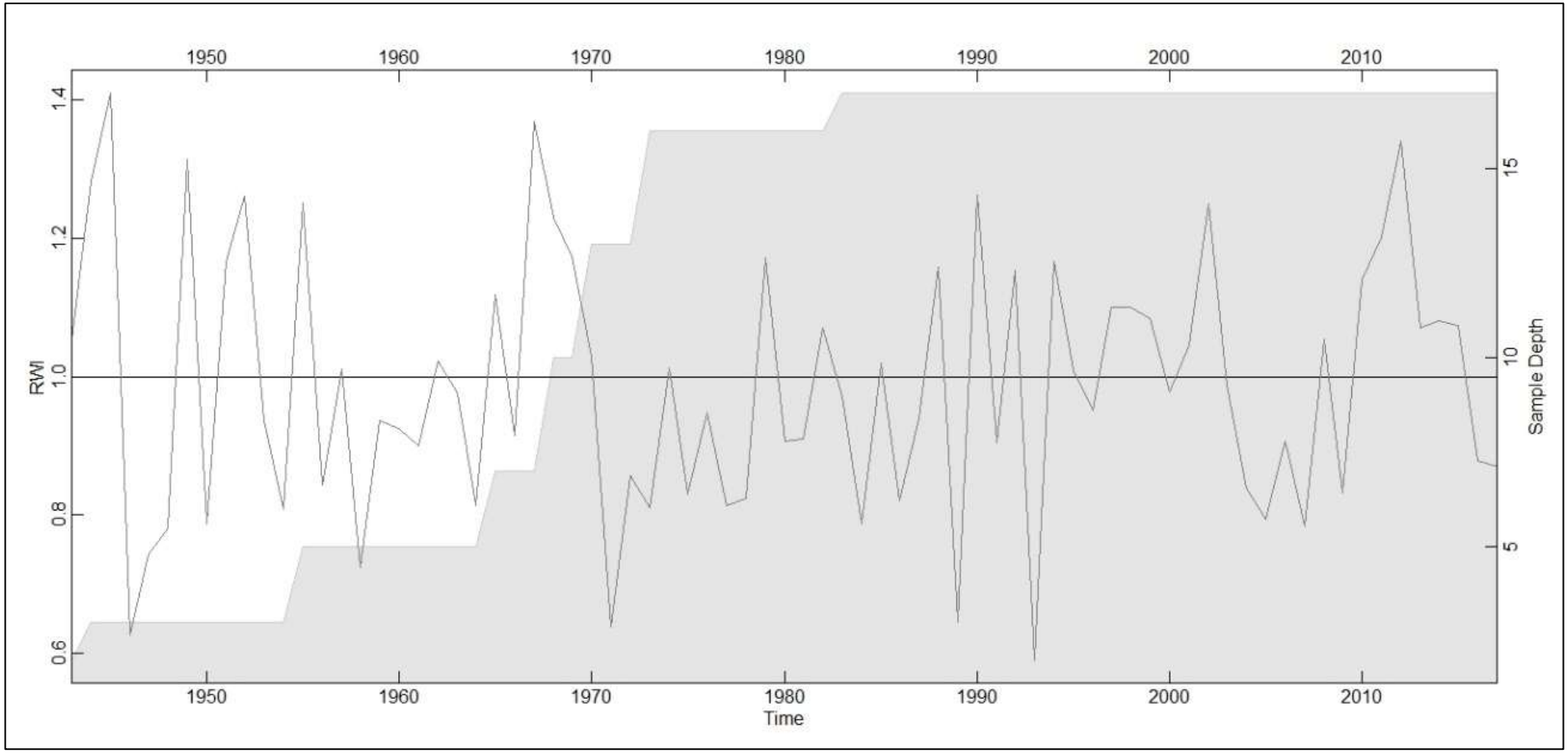
Figura 9 – Lenho de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. evidenciando a demarcação dos anéis de crescimento por diminuição da frequência de poros e parênquima (9A), a ocorrência de canais traumáticos (9B) e a demarcação por zona fibrosa (9C).

Dendrocronologia da castanheira-do-Brasil

O tratamento de dados baseado em correlações estatísticas verificou a aptidão das informações para serem correlacionadas com as variáveis ambientais. Exclusivamente para essa finalidade, o universo amostral sofreu drástica redução devido a exclusão de indivíduos que não apresentaram o mesmo padrão de crescimento dos demais. Em geral, a intensidade dos cortes é condicionada a características intrínsecas da população amostrada. Diante disto, ressalta-se que, para finalidades dendrocronológicas, quanto maior o número de indivíduos coletados, maiores as chances de se manter o universo amostral ainda robusto após o controle de qualidade. No caso da castanheira-do-Brasil, a espécie manteve 50% do seu número inicial de indivíduos analisados, o que pode ser considerado positivo, tendo em vista um número inicial relativamente pequeno de 14 indivíduos.

A partir dos dados selecionados, o pacote estatístico *dplR* do *software R* gerou a cronologia padrão (Figura 10). O pacote *treeclim* gerou os índices de correlação entre a cronologia gerada e os dados de precipitação e temperatura fornecidos pela estação meteorológica de Belterra/PA, considerando o intervalo de tempo de 1973 (dado climatológico mais recente) a 2017 (último anel completo mensurado) (Figura 10).

Figura 10 – Série cronológica do índice de espessura dos anéis de crescimento de indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. compreendendo o período de 1943 a 2017.

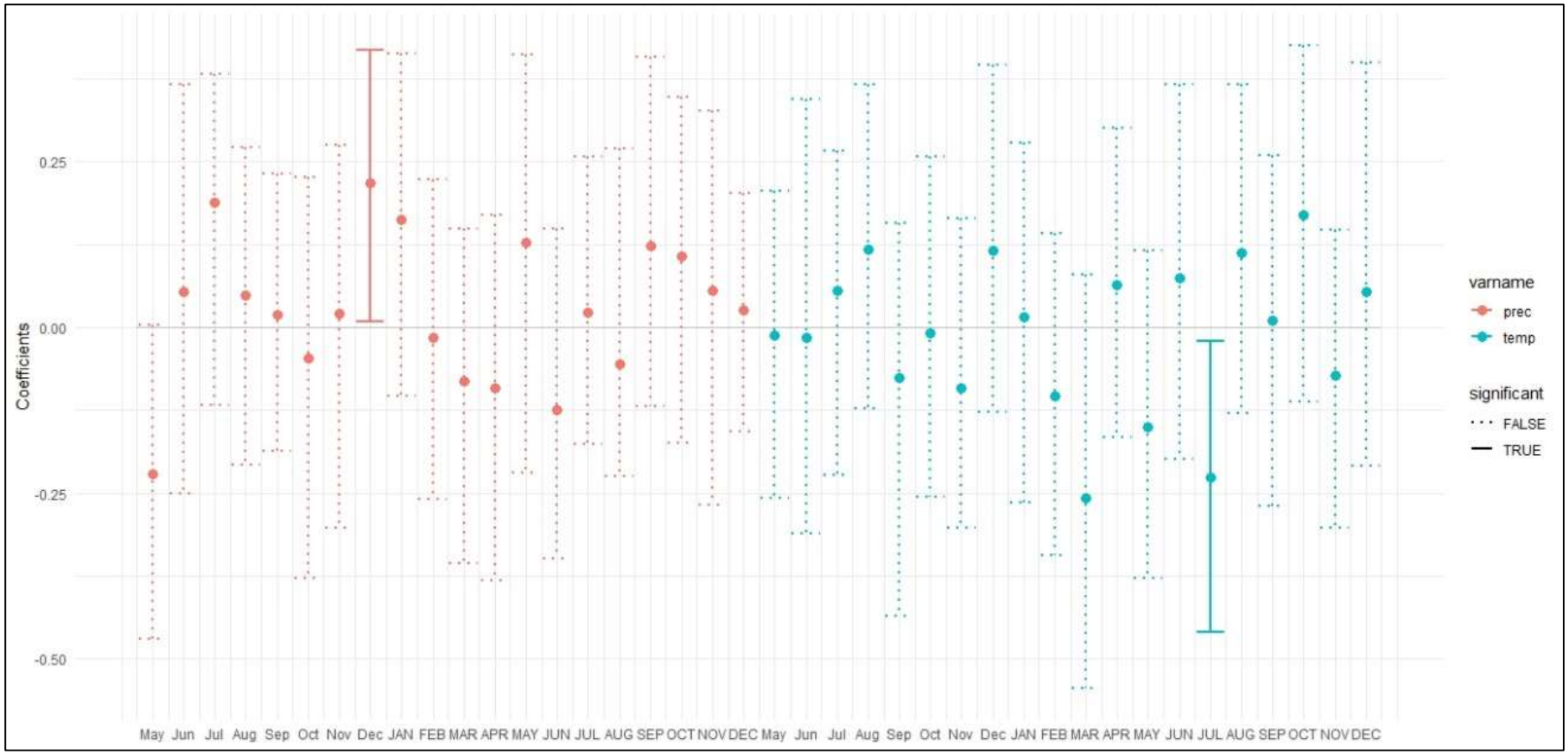


Correlação da cronologia da castanheira-do-Brasil com a precipitação e temperatura locais

Na figura 11, considerando toda a série histórica de dados climatológicos, observa-se que no mês de dezembro prévio houve correlação positiva significativa entre o crescimento da castanheira-do-Brasil e a precipitação local. Esse mês marca o início das chuvas em maior parte da região e início da formação da camada de crescimento, portanto, a relação positiva demonstra que o índice pluviométrico é um fator determinante para o crescimento da espécie. Nesse intervalo temporal também é possível observar correlação significativa negativa entre o crescimento da espécie e a temperatura local de julho, mês que marca o início do verão amazônico e a diminuição significativa a pluviosidade.

Figura 11 – Coeficientes de correlação entre o crescimento dos indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. e os dados de temperatura e precipitação local de 1973 a 2017.

*Os meses correntes estão escritos em caixa alta e os prévios com somente a primeira letra em maiúsculo.
Em que: Coefficients: coeficientes; varname: variáveis; prec.: precipitação; temp.: temperatura; significant: significância; FALSE: não significante e TRUE: significante.



Relação entre a cronologia da castanheira-do-Brasil e os eventos de *El Niño*

Na Figura 12, pode-se relacionar as ocorrências de *El Niño* (aumento anormal da temperatura das águas do Oceano Pacífico Tropical) e La niña (redução anormal da temperatura das águas do Oceano Pacífico Tropical) com a cronologia da castanheira-do-Brasil no período de 1950 a 2017. De modo geral, observa-se que a cronologia dos indivíduos de castanheira-do-Brasil responde negativamente aos eventos de *El Niño*.

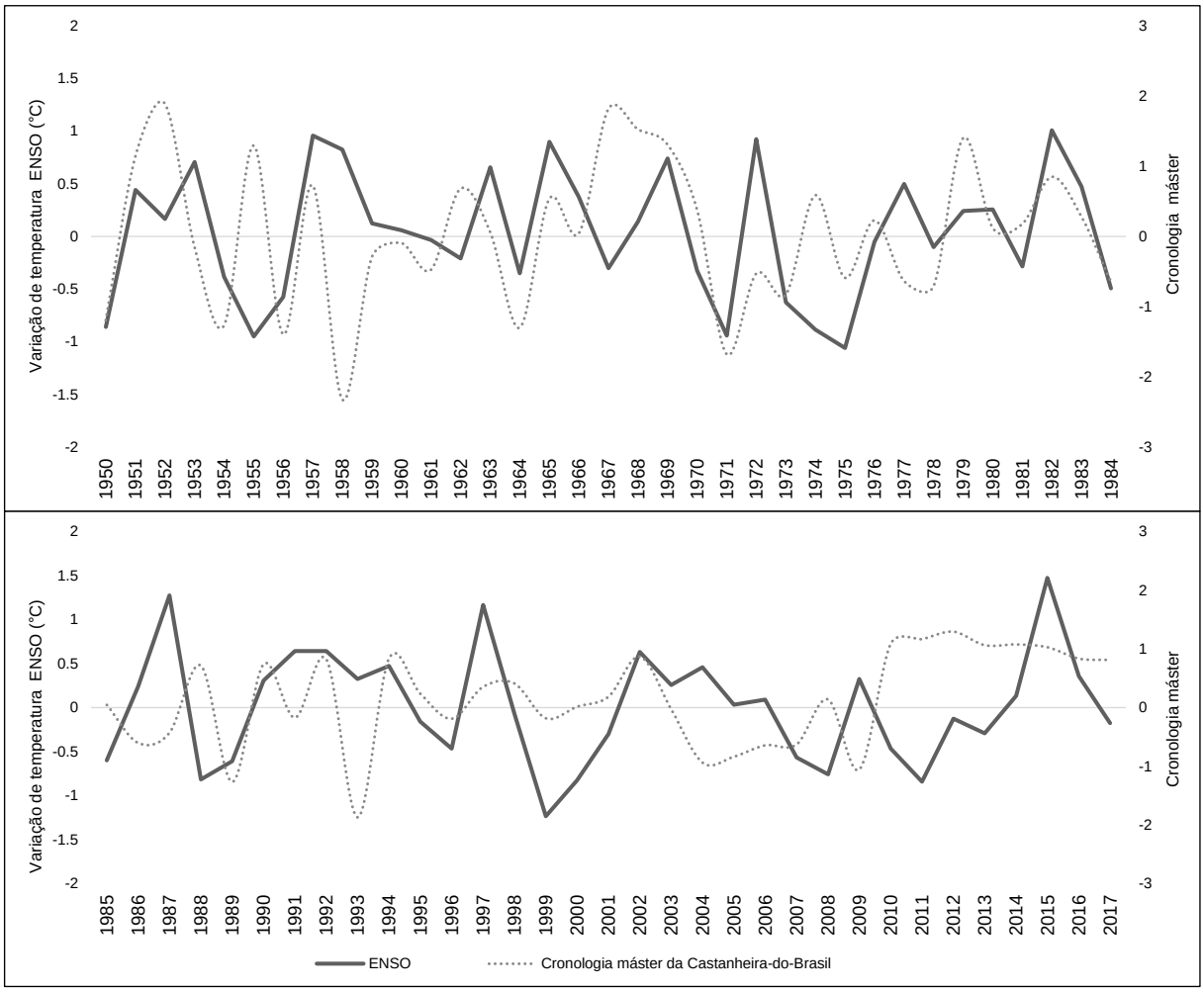


Figura 12 – Variação da temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical e a cronologia máster dos indivíduos de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. de 1950 a 2017.

DISCUSSÃO

Anatomia da madeira e demarcação das camadas de crescimento

As características macroscópicas encontradas nos espécimes de castanheira-do-Brasil analisados correspondem às descrições realizadas por Latorraca et al. (2018). O

aumento da espessura da parede celular no tecido do lenho tardio torna sua coloração mais escura e, juntamente com o afastamento das linhas de parênquima, resulta do encerramento de um ciclo sazonal. Essas caraterísticas foram suficientes para a identificação das camadas de crescimento, porém, esta etapa é mais em espécies com ocorrência de parênquima marginal.

De acordo com Quintilham (2019), espécies tropicais apresentam em geral lenho tardio com vasos de menor densidade e diâmetro e para o lenho inicial vasos com maior densidade e diâmetro. Essas características não foram determinantes para a delimitação dos anéis de crescimento da castanheira-do-Brasil, mas indicam que a sazonalidade da região tropical agrega caracteres anatômicos propícios para a delimitação e análise das camadas de crescimento. Boninsegna et al. (2009) destaca que o desenvolvimento de pesquisas dendrocronológicas em regiões tropicais representa grande desafio, principalmente devido a visualização dificultada dos anéis de crescimento. Diferentemente das zonas temperadas, onde os anéis de crescimento das árvores são facilmente distintos, as zonas tropicais possuem árvores com camadas de crescimento de estrutura mais complexa e difícil análise.

Entretanto, a biodiversidade dessas regiões permite a verificação da plasticidade (em função da sazonalidade) das características anatômicas no lenho de uma variedade significativamente maior de espécies, gerando maiores possibilidades de sucesso nas pesquisas com fins dendrocronológicos. Autores como Worbes (2002) e Schongart et al. (2002) reiteram a viabilidade de anéis de crescimento anuais em espécies arbóreas tropicais.

Dendrocronologia da castanheira-do-Brasil

Os resultados obtidos nas intercorrelações das séries indicam que os indivíduos de castanheira-do-Brasil localizados na Floresta Nacional do Tapajós são passíveis de análises dendrocronológicas e correlações com as variáveis climáticas locais. A intercorrelação obtida (0.330) é similar às obtidas por Sousa (2019), que, com número inicial de indivíduos amostrados significativamente maior, obteve valores de 0.333 para *Hymenaea courbaril* (jatobá) e 0.367 para *Cedrela odorata* (cedro). Leva-se em consideração também que estas

espécies apresentam parênquima marginal como principal indicador do limite das camadas de crescimento, o qual funciona como agente facilitador da contagem dos anéis. Isso demonstra que, embora apresente características mais suscetíveis a erros, os espécimes de castanheira-do-Brasil geraram resultados consistentes. A intercorrelação também foi igual ou superior às apresentadas por maioria das espécies estudadas por Figueiredo Filho et al. (2017) em uma área de regeneração natural na Floresta Nacional de Irati, no estado Paraná, Sul do Brasil. Layme-Huaman et al. (2018), ao estudarem a dendrocronologia de *Cedrela nebulosa* na Amazônia peruana, encontram média de sensitividade e intercorrelação entre as séries de 0.36 e 0.47, respectivamente. Os autores afirmam que esses dados, aproximados aos encontrados para a castanheira-do-Brasil, indicam que as séries apresentam crescimento radial comum, contribuindo positivamente para sua cronologia. Portanto, a castanheira-do-Brasil apresenta sensibilidade suficiente para ser utilizada como indicador ambiental na FLONA Tapajós.

Correlação da cronologia da castanheira-do-Brasil com a precipitação e temperatura locais

Nesse sentido, as correlações verificadas, considerando o intervalo de tempo de 1972 a 2017, demostram que a espécie sofre influência tanto da precipitação em dezembro prévio, quanto da temperatura em julho, sendo que o maior índice de pluviosidade proporciona maior crescimento em diâmetro das árvores e as temperaturas mais altas fazem com que haja uma redução de crescimento radial. Essas respostas podem ser explicadas pelo comportamento fisiológico da espécie, que, segundo Tonini (2011), pode se apresentar bastante variável ao longo dos anos. Tonini (2011) realizou uma pesquisa completa a respeito do comportamento fenológico da castanheira-do-Brasil no Sul do Estado de Roraima e um dos resultados explicita que a queda de folhas pode iniciar fortemente em junho/julho e a recomposição da copa se completa em dezembro. Segundo o autor, isso ocorre porque em muitos casos, enquanto ocorre a queda das folhas, alguns indivíduos já iniciam a emissão de folhagem nova. Ademais, Guerreiro et al. (2018) realizaram estudos sobre a composição da liteira da mesma

população de castanheiras-do-Brasil estudas no presente trabalho e verificaram que a partir do mês de julho a liteira passa a apresentar maior teor de folhas, se intensificando nos demais meses secos, indicando que nos meses de menor disponibilidade hídrica e temperaturas mais altas, a espécie usa como estratégia a liberação de folhas. A ocorrência desses comportamentos nesses meses corrobora com os resultados obtidos na correlação da cronologia com a temperatura e a precipitação.

A correlação negativa significativa entre o crescimento da espécie as temperaturas em julho ocorre aproximadamente no mês em que a temperatura média local apresenta leve incremento. Como verificado por Padilha et al. (2016), a senescência das folhas é induzida pelo déficit hídrico, possivelmente causada por nuances nessa variável climática. É importante ressaltar que as correlações, por via de regra, foram realizadas considerando as temperaturas médias. Todavia, deve-se levar em consideração que as temperaturas máximas atingidas podem ter exercido forte influência sobre a fisiologia das árvores. Palheta et al. (2017) realizaram estudos sobre a influência do déficit hídrico sobre o crescimento e as variáveis fisiológicas da castanheira-do-Brasil e encontraram redução na taxa fotossintética líquida, condutância estomática e taxa transpiratória, o que acarretou a redução dos índices de crescimento, indicando que a espécie é sensível a estas mudanças no ambiente. Diante disso, assume-se a possibilidade de que, como aumento das temperaturas e redução da disponibilidade hídrica, a castanheira-do-Brasil pode ter desenvolvido estratégias fisiológicas como a redução de folhagem e dos parâmetros de trocas gasosas para otimizar o uso da água e em decorrência disso, a produção de biomassa também foi reduzida. Porém, preconiza-se a realização de estudos fisiológicos mais aprofundados com os mesmos indivíduos ao longo da sazonalidade climática para a investigação dessa hipótese.

Por sua vez, a correlação positiva entre o mês de dezembro do ano prévio já era esperada, uma vez que os dados da estação meteorológica demostram o maior índice médio de precipitação para este mês. Batalha et al. (2014), ao analisarem a climatologia local, ressaltam que dezembro se apresenta como um dos meses no qual a média de chuvas se torna mais variável e que em alguns anos é possível ocorrer uma oferta de chuva até 100 mm

acima da média histórica. Portanto, nesse período as atividades fisiológicas podem ser mais intensas, como explica Bochert (1999), pois o primeiro contato das árvores com o maior volume de água causa a rápida reidratação do tronco e um acelerado incremento em diâmetro. O autor também elucida que para árvores com comportamento decidual, as atividades cambiais são diretamente influenciadas pela disponibilidade de água no solo.

Relação entre a cronologia da castanheira-do-Brasil e os eventos de *El Niño*

De acordo com a classificação utilizada pelo CPTEC/INPE, que calcula os anos de ocorrência das anomalias através do método proposto por Trenberth (1997), a intensidade do *El Niño* pode ser considerada forte (> 1.5 °C), moderada (< 1.5 °C e > 1.0 °C) ou fraca (< 1.0 °C e > 0.5 °C). Para análise da possível influência desta variável sobre a cronologia da castanheira-do-Brasil, considerou-se somente as ocorrências classificadas como fortes ou moderadas. Destaca-se também que essas discussões se baseiam na comparação entre a tendência da cronologia máster da espécie e os eventos atípicos, sem avaliação de significância estatística.

Nesse sentido, resultados obtidos indicam que população de castanheiras-do-Brasil avaliada sofre possível influência das anomalias climáticas causadas pela ENOS. Em todas as ocorrências de *El Niño* consideradas fortes dentro do intervalo de tempo da cronologia da espécie (1957-1958, 1965-1966, 1972-1973, 1982-1983, 1987-1988, 1991-1992, 1997-1998 e 2015-2016), o crescimento apresentou redução nos anos associados, bem como em ocorrências moderadas (1963-1964 e 1969-1970). O estudo de Marengo et al. (2011) sugere que mudanças observadas na duração e intensidade da estação seca na Amazônia estão relacionadas às mudanças hidrológicas causadas pelo aquecimento da temperatura da superfície do mar. Fu et al. (2013) sugere que essa variável, junto a ações antrópicas, é um dos principais fatores que propiciam o aumento da duração da estação seca na Amazônia, que se intensificou a partir de 1979.

Os estudos de Moura et al. (2019) na bacia do rio Amazonas permitiram-lhes confirmar que, como resultado de eventos de *El Niño*, as médias de precipitação mensal são reduzidas

e que o anomalia de 2015 representa uma das mais fortes influências históricas sobre o aumento da temperatura e redução do nível das chuvas na região amazônica. Portanto, da mesma forma que a resposta do crescimento das árvores frente a sazonalidade climática local pode estar relacionada a comportamentos fisiológicos, a explicação de influências negativas dos períodos de *El Niño* sobre o crescimento vegetal podem estar atreladas a comportamentos semelhantes, porém intensificados pelo evento climático anormal.

Em função de hipóteses levantadas a partir desse fenômeno, pesquisas vêm sendo realizadas na região amazônica com o intuito de verificar como as florestas respondem às mudanças hidrológicas causadas pelo ENSO. A exemplo disto, o estudo de Barros et al. (2019) comparou, entre outras variáveis, características hídricas e condutância do dossel de comunidades arbóreas da Floresta Nacional do Tapajós no Pará (sazonalidade fortemente demarcada) e da Reserva Biológica de Cuieiras no Amazonas (baixa sazonalidade). Os autores concluíram que, durante o *El Niño* de 2015, maioria das espécies ocorrentes no ambiente com sazonalidade mais demarcada e de menor disponibilidade hídrica apresentaram resistência ao embolismo e mantém níveis de condutância do dossel similares aos das espécies avaliadas no ambiente de baixa sazonalidade e maior umidade. Isso indica que o déficit hídrico recorrente pode proporcionar adaptações funcionais nas espécies e, como explica Phillips et al. (2010), realizar a seleção natural em função de características pré-existentes.

Por outro lado, a tendência indicada pela associação dos eventos de *El Niño* e o crescimento da castanheira-do-Brasil sugerem que, mesmo em uma floresta de sazonalidade demarcada, as árvores não conservaram o comportamento fisiológico durante os eventos extremos, tendo em vista que seu crescimento foi negativamente afetado. Brum et al. (2018) verificaram que a transpiração do dossel e subdossel de florestas na Amazônia apresentam respostas diferentes em um contexto de seca induzida por *El Niño*. A redução da umidade das camadas superficiais do solo durante esse evento não afetou a taxa de transpiração das árvores do dossel, mas as componentes do subdossel são mais conservadoras quanto ao uso

da água provavelmente devido a capacidade limitada de acessar a água contida nos horizontes mais profundos do solo.

Assim, para uma investigação mais profunda acerca das causas da sensibilidade da castanheira-do-Brasil aos eventos de seca, é pertinente a aplicação de estudos sobre a disponibilidade hídrica (antes, durante e após o período da seca) no solo onde está localizada a população que gerou a cronologia. Contudo, Bonal et al. (2016) explicam que florestas tropicais com diferentes composições florísticas podem responder de forma distinta às secas e o comportamento a nível de espécie depende de um complexo conjunto de fatores ainda desconhecidos, fortalecendo a necessidade de um conjunto mais robusto de pesquisas para afirmações precisas.

Outro ponto importante a ser destacado em relação aos possíveis efeitos das anomalias climáticas sobre o crescimento da castanheira-do-Brasil é a resposta aparentemente tardia na maioria desses eventos. A influência da anomalia de 1957-1958 é evidenciada em 1958; a de 1963, em 1964; a de 1965-1966, em 1966; a de 1969-1970, em 1971; a de 1982-1983, em 1984; a de 1987-1988, em 1989; a de 1991-1992, em 1993 e a de 2015-2016, tende a decrescer em 2017. Phillips et al. (2010) estudaram a taxa de mortalidade de árvores antes, durante e depois a seca de 2005 na Amazônia e concluíram que o impacto desses eventos não se limita ao período corrente e pode se estender por dois anos ou mais. Zanin e Satyamurty (2019) identificaram, em revisão bibliográfica, pesquisas que verificaram que a memória hidrológica do solo pode transmitir as anomalias da sazonalidade climática para os anos posteriores e consequentemente afetar o comportamento da vegetação.

CONCLUSÕES

A população de castanheiras-do-Brasil (*Bertholletia excelsa)* ocorrentes na Flona-Tapajós apresenta camadas de crescimento distintas e anuais. Com uma amostra de sete indivíduos e 17 séries anéis de crescimento foi possível alcançar uma intercorrelação significativa com a cronologia máster. A correlação com as variáveis climáticas locais

demonstrou que o crescimento da espécie sofre influência positiva da pluviosidade no início da estação chuvosa e é sensível ao aumento de temperatura no começo do período seco. Além disso, a ocorrência de anomalias climáticas causadas pelo *El Niño*-Oscilação Sul estão associadas a tendências de decréscimo observadas na cronologia máster. As possíveis explicações para estas respostas podem ser encontradas em mecanismos fisiológicos fenológicos das árvores durante eventos de seca.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.V.L.; FLORES, B.M.; LEVIS, C.; CLEMENT, C.R.; ROBERTS, P.; SCHÖNGART, J. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. **PLoS ONE**, v. 14, n. 4, p. e0214128, abr. 2019.

BARROS, F.V.; BITTENCOURT, P.R.L; BRUM, M., RESTREPO-COUPE, N.; PEREIRA, L.; TEODORO, G.S.; SALESKA, S.R.; BORMA, L.S.; CHRISTOFFERSEN, B.O.; PENHA, D.; ALVES, L.F.; LIMA, A.J.N.; CARNEIRO V.M.C.; GENTINE, P.; LEE, J.E.; ARAGÃO, L.E.O.C.; IVANOV, V.; LEAL, L.S.M.; ARAUJO, A.C.; OLIVEIRA R.S. Hydraulic traits explain differential responses of Amazonian forests to the 2015 El Niño-induced drought. **New Phytol.**, v. 223, p. 1253-1266, 2019.

BATALHA, S.S.A; MARTORANO, L.G.; BIASE, A.G.; MORALES, G.P.; PONTES, A.N.; SANTOS, L.S. Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 4, p. 647-658, 2014.

BOCHERT, R. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.

BONAL, D.; BURBAN, B.; STAHL, C.; WAGNER, F.; HÉRAULT, B. The response of tropical rainforests to drought—lessons from recent research and future prospects. **Annals of forestry science**, v. 73, p. 27-44, 2016.

BONINSEGNA, J.A.; ARGOLLO, J.; ARAVENA, J.C.; BARICHIVICH, J.; CHRISTIE, D.; FERRERO, M.E.; LARA, A.; LE QUESNE, C.; LUCKMAN, B.H.; MASIOKAS, M.; MORALES, M.; OLIVEIRA, J.M.; ROIG, F.; SRUR, A.; VILLALBA, R. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3/4, p. 210-228. 2009.

BRASIL. Decreto Federal nº 1.228, de 19 de outubro de 1994 [online]. Regulamenta os arts. 15, 19, 20 e 21 da Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa de Brasil**, Brasília, 20 out. 1994. Disponível em: http://presrepublica.jusbrasil.com. br/legislacao/109608/decreto-1282-94. Acesso em: 15 set. 2019.

BRIENEN, 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,** v. 146, n. 1, p. 1 - 12, nov. 2005.

BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management,** v. 226, n. 3, p. 256-267, mai. 2006.

BRUM, M.; GUTIÉRREZ, L.J.; ASBJORNSEN, H.; LICATA, J.; PYPKER, T.; SANCHEZ, G.; OIVEIRA, R.S. ENSO effects on the transpiration of eastern Amazon trees. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 374, 2018. doi: 10.1098/rstb.2018.0085.

BUNN, AG. “Statistical and visual crossdating in R using the dplR library.” **Dendrochronologia**, v. 28, n. 4, p. 251-258, 2010. doi: 10.1016/j.dendro.2009.12.001.

FICHTLER, E; CLARK, D.A.; WORBES, M. Age and long-term growth of trees in an old-growth tropical rain forest, based on analyses of tree rings and C-14. **Biotropica,** v. 35, n. 3, p. 306 - 317, sep. 2003.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F.S.; RETSLAFF, F.S.; LONGHI-SANTOS, T.; Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00104814, 2017.

FU, R.; YIN, L.; LI, W.; ARIAS, P.A.; DICKINSON, R.E.; HUANG, L.; CHAKRABORTY, S.; FERNANDES, K.; LIEBMANN, B.; FISHER, R.; MYNENI, R.B. 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. doi: 10.1073/pnas.1302584110

GERREIRO, Q.L.M.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; RUIVO, M.L P.; SILVA, K.E.; BELDINI, T.P.; GUEDES, M.C.; MOTA, A.F.L.; MORAES, B.L.T.; SANTOS, P.R.B.; DUIN, I.M. Litter production in a natural stand of Brasil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 5, p. 228-238, 2018.

KAINER, K.A.; MALAVASI, M.D.; DURYEA, M.L.; SILVA, E. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) seed characteristics, preimbibition and germination. **Seed Science and Technology,** v. 27, n. 2, p. 731-745, 1999.

LACERDA, A.E.B.; NIMMO, E.R.; SEBBENN, A.M. Modeling the Long-Term Impacts of Logging on Genetic Diversity and Demography of Hymenaea courbaril. **Forest Science,** v. 59, n. 1, p. 15-26, feb. 2013.

LATORRACA, J.V.F.; CASTRO, J.P.C.; SANTOS, G.C.V. **Guia para identificação macroscópica de madeira**. Clube de autores, 2018. 78p.

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, p. 105–112, 2018. doi:10.1016/j.dendro.2018.06.004

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, p. 1-5, 2011. doi: 10.1029/2011GL047436

MARTORANO, L.G. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)**. SUDAM: EMBRAPA-SNLCS, 1993. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=99HKZwEACAAJ. Acesso em: 28 de novembro de 2019.

MATTOS, P.P.; BRAZ, E.M.; HESS, A.F.; SALIS, S.M. **Dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais** [online]. 21 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 37 p.

MOURA, M.M.; SANTOS, A.R.; PEZZOPANE, J.E.M.; ALEXANDRE, R.S.; SILVA, S.F.; PIMENTEL, S.M.; ANDRADE, M.S.S.; SILVA, F.G.R.; BRANCO, E.R.F.; MOREIRA, T.R.;

SILVA, R.G.; CARVALHO J.R. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Enviroment**, v. 651, p. 1639-1651, 2019.

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, p. 513-521, 2016.

PALHETA, L.F.; SANTOS FILHO, B.G.; SIMÕES, P.H.O.; NOGUEIRA, G.A.; OLIVEIRA NETO, C.F.; SOUSA, P.R.F. Crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) submetidas à deficiência hídrica. **Revista espacios**, v. 38, n. 32, 2017.

PHILLIPS, O. L. et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytol.**, v. 187, p. 631-646, 2010.

QUINTILHAM, M.T. **Crescimento, anatomia, microdensidade e propriedades hidráulicas do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* ao longo de uma rotação de 8 anos: correlação com o clima e ciclos de carbono e de água**. 2019. 117p. Dissertação de mestrado. USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

SCHONGART, J; GRIBEL, R; FONSECA-JUNIOR, S.F; HAUGAASEN, T. Age and Growth Patterns of Brazil Nut Trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica,** v. 47, n. 5, p. 550-558, sep. 2015.

SCHONGART, J.; PIEDADE, M.T.F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology,** v. 18, n. 4, p. 581-597, jul. 2002.

SCOLES, R.; CANTO, M. S.; ALMEIDA, RG; VIEIRA, DP. Sobrevivência e Frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em Áreas Desmatadas em Oriximiná, Pará. **Floresta Ambiente**, v. 23, n.4, p. 555-564, abr. 2016.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population Structure of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa,* Lecythidaceae) Stands in Two Areas with Different Occupation Histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology,** v. 39, n. 4, p. 455 - 464, aug. 2011.

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**. 2019. 133 p. Tese de doutorado. USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

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

SUJII, P.S.; MARTINS, K; WADT, LHO; AZEVEDO, VCR; SOLFERINI, VN. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics,** v. 16, n. 4, p. 955-964, aug. 2015.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, v, 17, n. 1, p. 123-131, 2011.

TRENBERTH, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of theAmerican Meteorology Society**, Washington, v. 78, p. 2771-2777, 1997.

VELOSO, H.P; RANGEL FILHO, A.L.R; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1991. 124 p.

WADT, L.H.O; KAINER, K.A; GOMES-SILVA, D.A.P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management,** v. 211, n. 3, p. 371-384, jun. 2005.

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

ZANG, C.; BIONDI, F. “Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships.” **Ecography**, v. 38, n. 4, p. 431-436, 2015. doi: 10.1111/ecog.01335.

ZANIN, P. R., SATYAMURTY, P. Hydrological processes interconnecting the two largest watersheds of South America from multi-decadal to inter-annual time scales: A critical review. **International Journal of Climatology**, Review; Early Access. Accepted in 2019. doi: 10.1002/joc.6442