

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**DENDROCRONOLOGIA DE *Hymenaea courbaril* L. (JATOBÁ-  
DA-MATA) e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima  
(CARVOEIRO) DA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO**

**Karollyne Silva Guimarães**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Beatriz Schwantes Marimon  
Coorientador: Dr. Giuliano Maselli Locosselli

Nova Xavantina-MT  
Agosto, 2019

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**DENDROCRONOLOGIA DE *Hymenaea courbaril* L. (JATOBÁ-  
DA-MATA) e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima  
(CARVOEIRO) DA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO**

**Karollyne Silva Guimarães**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Beatriz Schwantes Marimon  
Coorientador: Dr. Giuliano Maselli Locosselli

Nova Xavantina-MT  
Agosto, 2019

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

This study was partially funded by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazilian Ministry of Education) – Finance Code 001.

**TERMO DE APROVAÇÃO****DENDROCRONOLOGIA DE *Hymenaea courbaril* L. (JATOBÁ-DA-MATA) e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima (CARVOEIRO) DA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO****Karollyne Silva Guimarães**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Aprovado em 23 de agosto de 2019.

Banca Examinadora:

---

**Profa. Dra. Beatriz Schwantes Marimon** (Orientadora)  
Universidade do Estado de Mato Grosso

---

**Prof. Dr. Mario Tommasiello Filho** (Membro titular-Externo)  
Universidade de São Paulo

---

**Dra. Simone Matias de Almeida Reis** (Membro titular-Externo)  
Universidade de Oxford

---

**Prof. Dr. Paulo Sérgio Morandi** (Membro suplente)  
Universidade do Estado de Mato Grosso

---

**Dr. Gabriel Henrique Pires de Mello Ribeiro** (Membro suplente)  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

*Dedico a todos que estiveram  
ao meu lado nessa jornada.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, pela oportunidade de cursar o mestrado e ao apoio financeiro e de recursos.

Ao CNPq-PELD (Projeto Transição Cerrado-Amazônia: bases ecológicas e socioambientais para a conservação, etapa III – Proc. 441244/2016-5) e ao British Council-Newton Fund, pelo apoio financeiro durante a coleta de dados em campo e pelo financiamento da visita à Universidade de Leeds, Inglaterra, quando parte dos dados foram processados e analisados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo.

Aos meus pais, Lucimar dos Santos e Vicente Guimarães e aos meus irmãos, Kamila Guimarães e João Pedro Duarte, por sempre me apoiarem e acreditarem nos meus sonhos.

À minha orientadora, Beatriz S. Marimon por todos os ensinamentos e por ser um exemplo de pesquisadora, professora e liderança feminina.

À toda equipe do Laboratório de Ecologia Vegetal (LABEV), que sempre consegue acolher muito bem os forasteiros.

Ao meu coorientador Dr. Giuliano M. Locosselli, por toda orientação, atenção, apoio.

Ao Instituto de Biociências da USP, pelo suporte nas análises de dados dendrocronológicos em especial ao Dr. Gregório Ceccantini, pela total disponibilização do espaço e de todos os equipamentos do Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto de Biociências – USP.

Ao Dr. Roel Brienem, pela orientação e credibilidade e pelo suporte oferecido na Universidade de Leeds - UK.

A todos que me ajudaram no momento da coleta de dados, especialmente Denilson Santos, Pedro Noleto, Wesley Jonatar, Kelle Moserre e Pedro Gabriel.

Aos meus amigos Arthur A. Veríssimo, Lidiane Maria, Daniela Sifuentes, Hugo H. Costa, Hayanne Braga, por suprirem minhas necessidades emocionais.

Aos meus amigos Bárbara Rocha e Michelangelo Gonzatti, por me darem abrigo em São Paulo e me receberem tão bem em sua casa, fazendo com que eu me sentisse como se fosse a minha.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1.1. <i>Mudanças climáticas e dendrocronologia</i> .....	1
1.2. <i>Manejo florestal</i> .....	4
1.3. <i>Espécies estudadas e estrutura da dissertação</i> .....	5
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL .....	6
CAPÍTULO 1 .....	14
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
2.1. <i>Área de estudo</i> .....	17
2.2. <i>Espécies em estudo</i> .....	18
2.3. <i>Coleta de dados</i> .....	19
2.4. <i>Análise dos anéis e Modelos de Crescimento</i> .....	20
2.5. <i>Cálculos de volume, diâmetro mínimo e ciclos de corte</i> .....	21
3. RESULTADOS.....	22
4. DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÃO.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
CAPÍTULO 2.....	38
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
2.1. <i>Área e espécie de estudo</i> .....	41
2.2. <i>Coleta de dados</i> .....	44
2.3. <i>Preparação das amostras e análise dos anéis</i> .....	45
2.4. <i>Análise de dados</i> .....	45
3. RESULTADOS.....	46
4. DISCUSSÃO.....	52
5. CONCLUSÃO.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo .....	18
<b>Figura 2.</b> Indivíduo de <i>Hymenaea courbaril</i> de idade conhecida .....	22
<b>Figura 3.</b> Indivíduo de <i>Tachigali vulgaris</i> de idade conhecida .....	23
<b>Figura 4.</b> Relação entre o crescimento em DAP e a idade dos indivíduos .....	24
<b>Figura 5.</b> Tempo médio de passagem através de classes de 10 cm de diâmetro .....	25
<b>Figura 6.</b> Relações de idade-diâmetro e ciclos de corte específicos .....	26

### CAPÍTULO 2

<b>Figura 1.</b> Diagrama climático de Walter para os últimos 19 anos, na região de Nova Xavantina .....	42
<b>Figura 2.</b> Médias anuais da temperatura máxima e precipitação total da região de Nova Xavantina .....	43
<b>Figura 3.</b> Localização da área de estudo .....	44
<b>Figura 4.</b> Cronologia padrão de indivíduos de <i>Hymenaea courbaril</i> com números de raios e valores do sinal expresso da população (EPS) .....	48
<b>Figura 5.</b> Correlações entre a cronologia padrão de <i>Hymenaea courbaril</i> e os dados de temperatura máxima na região de Nova Xavantina nos últimos 60 anos (1958-2017) dividido em períodos de 20 anos .....	49
<b>Figura 6.</b> Correlações entre a cronologia padrão de <i>Hymenaea courbaril</i> e os dados de precipitação anual da região de Nova Xavantina nos últimos 60 anos (1958-2017) dividido em períodos de 20 anos .....	50
<b>Figura 7.</b> Correlações entre a cronologia de <i>Hymenaea courbaril</i> e a temperatura máxima da região da América do Sul do mês de novembro .....	51
<b>Figura 8.</b> Correlações entre a cronologia de <i>Hymenaea courbaril</i> e a precipitação da região da América do Sul do mês de novembro .....	52



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

- Tabela 1.** Descrição das características dos indivíduos de *Tachigali vulgaris* e *Hymenaea courbaril* que foram analisados ..... 23
- Tabela 2.** Coeficientes de correlação e estatística da relação DAP-idade ..... 24

### CAPÍTULO 2

- Tabela 1.** Descrição dos indivíduos de *Hymenaea Courbaril* que foram selecionados para compor a datação cruzada ..... 47
- Tabela 2.** Estatística descritiva da cronologia padrão de *Hymenaea courbaril* ..... 48

## RESUMO

Florestas tropicais possuem um papel central no ciclo de carbono terrestre por representarem 1/3 do estoque global em biomassa. Apesar de sua importância, as florestas tropicais apresentam os níveis mais elevados de desmatamento o qual ocorre em parte devido a exploração de madeira. No Brasil, a exploração legal de madeira depende de parâmetros estabelecidos pela legislação, como a duração do ciclo de extração (25 a 35 anos) e o diâmetro mínimo de corte (50 cm). Além disso, devido às mudanças no uso e ocupação do solo há evidências de que estas florestas também estejam sofrendo os efeitos das mudanças climáticas globais, o que tem reduzido historicamente sua capacidade de absorção de carbono. Assim, com base em análise dendrocronológica o presente estudo teve como objetivos: i) determinar os parâmetros adequados para a exploração madeireira sustentável de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.) e carvoeiro (*Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima) na transição Amazônia-Cerrado, e ii) avaliar a sensibilidade de *H. courbaril* à variabilidade climática na região. Coletamos amostras do tronco (baquetas) de 39 indivíduos de *H. courbaril* e 14 discos de *T. vulgaris*. Polimos as amostras, identificamos, contamos e medimos os anéis de crescimento. Com base na largura dos anéis de crescimento construímos gráficos de acúmulo de incremento diamétrico para comparar as taxas de crescimento das duas espécies. Os anéis de crescimento de *H. courbaril* foram datados e uma cronologia foi construída para o período entre 1940 e 2017 e correlacionada com dados climáticos de temperatura e precipitação da região. Os indivíduos de *H. courbaril* apresentaram idades entre 66 e 136 anos e *T. vulgaris* entre 10 e 27 anos. *Hymenaea courbaril* apresentou incremento médio em diâmetro de  $4,27 \pm 1,12$  mm.ano<sup>-1</sup>, atingiu o incremento máximo em volume com 113 anos e o diâmetro mínimo de corte (DMC) é de 54,9 cm, com ciclos de corte (CC) de 22,6 anos. *Tachigali vulgaris* apresentou incremento médio em diâmetro de  $6,97 \pm 2,58$  mm.ano<sup>-1</sup>, atingiu o incremento máximo em volume com 21 anos, DMC de 17,3 cm e CC de 6 anos. Com relação ao efeito do clima no crescimento de *H. courbaril*, registramos para o início da cronologia (1958 a 1977) correlação positiva com a precipitação e com a temperatura e no período recente (1998 a 2017), correlação positiva com a precipitação e negativa com a temperatura. Nossos resultados indicam que os critérios de manejo previstos pela legislação brasileira vigente não garantem a sustentabilidade das espécies em estudo. Além disso, observamos que *H. courbaril* sofreu modificações nas respostas das taxas de crescimento, em que, nos últimos 20

anos, teve seu crescimento controlado principalmente pela temperatura máxima da região, apresentando crescimento reduzido em anos mais quentes e mais secos.

**Palavras-chave:** dendroecologia, anéis de crescimento, manejo, clima, temperatura.

## ABSTRACT

Tropical forests has a central role in the terrestrial carbon cycle because they account for 1/3 of the global biomass stock. Despite their importance, tropical forests have the highest levels of deforestation which occurs in part due to logging. In Brazil, the legal exploitation of timber depends on parameters established by the legislation, such as the length of the feeling cycle (25 to 35 years) and the minimum logging diameter (MLD= 50 cm). In addition, due to changes in land use and occupation there is evidence that these forests are also suffering with the effects of global climate change, which has historically reduced their carbon sequestration capacity. Therefore, based on dendrochronological analysis, the objective of this study was: i) establish the appropriate parameters for the sustainable exploitation of jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L. – Fabaceae) and carvoeiro (*Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima – Fabaceae) in the Amazonia-Cerrado transition and, ii) to assess the sensitivity of *H. courbaril* to climatic variability in the region. We collected samples of drumsticks from 39 individuals of *H. courbaril* and 14 *T. vulgaris*. We polished the samples, identified, counted and measured the tree rings. Based on the spread of the tree rings we constructed diametric increase accumulation graphs to compare the growth rates of the two species. The tree rings of *H. courbaril* were dated and a chronology was constructed for the period between 1940 and 2017 and correlated with climatic data of temperature and precipitation of the region. The individuals of *H. courbaril* presented ages between 66 and 136 years and *T. vulgaris* between 10 and 27 years. *Hymenaea courbaril* presented a mean increase in diameter of  $4.27 \pm 1.12$  mm.year<sup>-1</sup>, reached the maximum increase in volume at 113 years and the MLD was 54.9 cm, with felling cycles (FC) of 22.6 years. *Tachigali vulgaris* presented a mean increase in diameter of  $6.97 \pm 2.58$  mm.year<sup>-1</sup>, reaching the maximum increase in volume at 21 years, MLD of 17.3 cm and FC of 6 years. With respect to the effect of climate on the growth of *H. courbaril*, we recorded for the beginning of the chronology (1958 to 1977) positive correlation with precipitation and with temperature and in the recent period (1998 to 2017),

positive correlation with precipitation and negative with the temperature. Our results indicate that the management criteria provided by the current Brazilian legislation do not guarantee the sustainability of these species. In addition, we observed that *H. courbaril* changed the growth rate responses, where in the last 20 years was mainly controlled by the region's maximum temperature, showing reduced growth in warmer and drier years.

**Keywords:** dendroecology, tree rings, management, climate, temperature.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 Mudanças climáticas e dendrocronologia

As florestas tropicais possuem um papel central no ciclo terrestre do carbono, por representarem cerca de 1/3 do estoque global de biomassa (Le Quéré *et al.*, 2016). Apesar da grande importância, nas últimas décadas, a expansão agrícola, a extração madeireira e o crescimento urbano levaram a perdas sem precedentes em florestas tropicais (Houghton, 1994; Lewis, 2015). Os eventos climáticos estão se tornando mais frequentes e intensos, resultando em mudanças no estoque de carbono e na temperatura global (Kelley *et al.*, 2015). Tais eventos climáticos extremos são caracterizados por verões extremamente quentes em escala global (Hansen *et al.*, 2012), secas intensas, chuvas concentradas (Aguilar *et al.*, 2005; Vale *et al.*, 2011; Lewis *et al.*, 2011; Marengo *et al.*, 2011; Nielsen-Gammon 2012), aumento na atividade de furacões (Walsh *et al.*, 2016) e tempestades de inverno (Vose *et al.*, 2014; Harley *et al.*, 2017), os quais têm o potencial de afetar a dinâmica das florestas. Sabe-se que as plantas possuem tolerâncias climáticas diferentes, sendo que algumas espécies de árvores tropicais, por exemplo, são vulneráveis a climas extremos, porém ainda não está claro como elas estão respondendo às mudanças climáticas recentes (Bonan, 2008; Corlett, 2016).

Nas últimas décadas, em todo o mundo, os recordes de temperaturas mensais foram cinco vezes maiores quando comparados com os valores registrados no final do século 19 e início do século 20 (Coumou e Robinson, 2013; Coumou *et al.*, 2013). Segundo o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) de 2018, o aumento da temperatura média do planeta atingiu 0,87 °C entre 2006 e 2015, quando comparado ao período de 1850–1900, aumentando a frequência e a magnitude dos impactos ambientais, e reforçando as evidências de que as projeções de aumento de 1,5 °C, ou mais, na temperatura média global podem impactar os sistemas naturais (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018).

Modelos preveem que o aumento na frequência e severidade dos eventos de seca pode ocorrer em consequência das emissões dos gases de efeito estufa, afetando toda a Amazônia (Malhi *et al.*, 2008). Nos últimos anos, três eventos sequenciais de grandes secas atingiram a Amazônia e ocorreram em curtos intervalos de tempo, nos anos de 2005, 2010 e 2016 (Espinoza *et al.*, 2011; Marengo *et al.*, 2011; Lewis *et al.*, 2011; Jiménez-Muñoz *et al.*, 2016; Rifai *et al.*, 2018), nos quais, como resposta fisiológica, as árvores

reduziram a captação de CO<sub>2</sub> atmosférico (Brando *et al.*, 2008; Phillips *et al.*, 2009; Brienen *et al.*, 2015). Anos como estes representam uma oportunidade única para o estudo dos efeitos de eventos climáticos extremos no crescimento de espécies arbóreas. Tais compreensões são relevantes devido ao fato do crescimento e o desenvolvimento das plantas estarem intimamente relacionados ao clima e as árvores podem ser severamente afetadas por regimes de precipitação e temperatura modificados pelas mudanças climáticas (Brienen *et al.*, 2010).

Este quadro de mudanças também se estende para a zona de transição entre os dois maiores biomas brasileiros, a Amazônia e o Cerrado (Marques *et al.*, 2019), já que esta é uma das regiões do Brasil que mais sofre com a ação humana resultante dos avanços da fronteira agrícola. Por estar localizada no “arco do desmatamento” a fragmentação da transição Amazônia-Cerrado vem se agravando, especialmente no estado de Mato Grosso, onde as matas vem sendo rapidamente convertidas, principalmente, em paisagens agrícolas (Marimon *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas, em detrimento dos danos causados pelos avanços da fronteira agrícola e expansão pecuária, intensas secas foram registradas nas porções de transição no sudeste da Bacia Amazônica (Hilker *et al.*, 2014; Staal *et al.*, 2015). A maior seca dos últimos 100 anos que atingiu toda a bacia, no ano de 2016, parece ter sido mais intensa na região Nordeste e Sudeste, que são fortemente influenciadas pela fragmentação, sugerindo que o desmatamento e o aquecimento da superfície estão influenciando o regime climático regional (Erfanian *et al.*, 2017). Estas mudanças nos padrões de precipitação na transição Amazônia-Cerrado ocorrem concomitantemente com a elevação da temperatura, em que a região central do Brasil registrou no último século um aumento de temperatura de 1,6°C, 100% acima do registrado para a média de aquecimento do globo (Coe *et al.*, 2016; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018). Além disso, na região sudeste da transição Amazônia-Cerrado, foi evidenciado aquecimento anômalo em cinco dos sete anos analisados, entre 2005 e 2012, durante a estação seca (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2013).

As espécies arbóreas, especialmente as que compõem a borda sul amazônica, podem ser ainda mais afetadas, pois de acordo com as projeções climáticas futuras, esta região apresenta maior tendência de intensificação do ciclo sazonal, com secas mais longas (Salazar *et al.*, 2007; Boisier *et al.*, 2015). Assim, as previsões de temperaturas mais elevadas na transição Amazônia-Cerrado em combinação com os eventos de seca podem resultar em um efeito exacerbado no desenvolvimento e sobrevivência das árvores.

Os efeitos do clima sobre o crescimento das espécies arbóreas podem ser avaliados por meio da dendrocronologia (Brienen *et al.*, 2012). Locais que possuem condições sazonais marcantes normalmente acentuam as respostas fisiológicas ao clima, propiciando oportunidade de identificação de ciclos anuais de crescimento de árvores (Cook e Kairiukstis, 2013). Assim, através da dendrocronologia é possível estudar os padrões de crescimento das árvores ao longo do tempo por meio da análise dos anéis de crescimento do tronco (Van Der Sleen *et al.*, 2017). Tais anéis podem ser observados macroscopicamente e são identificados por meio de padrões regulares de variação na composição e características das células do xilema em resposta às variações sazonais do clima (Worbes, 2010).

A dendrocronologia exige a datação precisa de cada anel de crescimento, a partir do qual um ano calendário é atribuído a cada anel de crescimento de acordo com o período em que ele foi formado (Hughes, 2002). Este processo é denominado de datação cruzada, no qual o ano calendário de formação de cada anel é atribuído por meio da avaliação de padrões comuns de crescimento entre árvores de uma mesma população (Yamaguchi, 1991). Em geral, tais padrões são avaliados por meio dos anéis marcadores, que correspondem aos anos com taxa de crescimento reduzida como resultado de uma condição restritiva comum a todos os indivíduos (Jenkins *et al.*, 2010; Brienen *et al.*, 2012; Williams *et al.*, 2013). Esses padrões de crescimento dependem de fatores abióticos, principalmente o clima, e tanto a temperatura quanto a precipitação podem limitar o crescimento das árvores (Brienen *et al.*, 2012).

Assim, os anéis de crescimento podem registrar variabilidade de parâmetros ambientais, como o clima, que são capazes de modular as taxas de crescimento das árvores (Rozendaal e Zuidema, 2011; Van Der Sleen *et al.*, 2017). Assim, as taxas anuais de crescimento radial podem ser estimadas por meio das medidas de largura dos anéis e, a partir destas medidas, é possível avaliar se os efeitos das variações ambientais e das mudanças climáticas influenciam o crescimento de indivíduos arbóreos de uma determinada população (Hughes, 2002). Portanto, o estudo dos anéis de crescimento permite identificar e reconstruir condições climáticas do passado, assim como das alterações ambientais e da dinâmica florestal (Botosso e Mattos, 2002).

## 1.2. Manejo florestal

A dendrocronologia também pode ser utilizada para o planejamento do manejo florestal e orientar o corte seletivo de espécies de interesse comercial (Brienen e Zuidema, 2006a). Para que a comercialização ocorra de forma sustentável, órgãos fiscalizadores, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), ligado ao Ministério do Meio Ambiente, definem parâmetros mínimos de exploração (Brasil, 2006). Contudo, esses parâmetros não levam em consideração as características individuais e regionais das espécies arbóreas (Braz *et al.*, 2014). No Brasil, a prática de extração de madeira é bastante difundida, especialmente no estado de Mato Grosso, onde o setor madeireiro possui fundamental importância econômica (CIPEM, 2012). Uma solução para potencializar a sustentabilidade do manejo de florestas nativas poderia ser a regionalização das informações, o que possibilitaria a elaboração de normas de manejo diferenciadas para cada região (Braz *et al.*, 2013).

Avaliações dendrocronológicas realizadas nos trópicos possibilitaram a determinação de valores de produção anual de madeira, períodos de declínio, diâmetro mínimo de corte (DMC), duração do ciclo de corte (CC) – dentre outras variáveis, que permitiram recomendar os ciclos das árvores e a melhor rotação para a exploração econômica sustentável (Gourlay *et al.*, 1994; Brienen e Zuidema, 2006a, b; Schöngart, 2008). Por exemplo, o estudo realizado em florestas de terra firme na Amazônia brasileira por Andrade *et al.* (2019), determinou as idades ideais de corte, o ingresso e a distribuição nas classes de diâmetro para a exploração de *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) e *Handroanthus serratifolius* (Vahl), o que coloca em evidência como as análises de anéis de crescimento podem auxiliar no manejo de florestas de espécies tropicais.

No Brasil, para que o manejo florestal sustentável seja efetivo em florestas nativas, o IBAMA, estabeleceu parâmetros mínimos de extração relacionados ao estoque de madeira a ser repostado ( $30\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ), a duração dos ciclos de corte (entre 25 e 35 anos), e também o diâmetro mínimo de corte, de 50 cm (Brasil, 2006). Apesar do estabelecimento de parâmetros mínimos ter a intenção de preservar e conservar as florestas nativas, tais critérios não implicam necessariamente na sustentabilidade das espécies exploradas, já que não levam em consideração padrões específicos e características ecológicas (Braz *et al.*, 2014).

A indústria madeireira representa 5,4% do Produto Interno Bruto do estado de Mato Grosso, gerando cerca de 90 mil empregos (CIPEM, 2012). Como agravante há o fato de



que a exploração madeireira ilegal representou cerca de 50% do total entre 2013/2016 (Silgueiro *et al.*, 2018), colocando as espécies como ameaçadas. Além disso, as espécies apresentam diferentes padrões de crescimento e é provável que aquelas com crescimento lento podem ser exploradas em excesso, mesmo durante a prática legal, enquanto que as de rápido crescimento não tem seu potencial madeireiro amplamente explorado (Schöngart, 2008).

### 1.3. Espécies estudadas e estrutura da dissertação

No presente estudo avaliamos os anéis de crescimento, os padrões de crescimento e o potencial de manejo de duas importantes espécies de árvores da transição Amazônia-Cerrado, ambas da família Fabaceae, o jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.) e o carvoeiro (*Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima). A primeira é uma árvore tropical de grande porte, amplamente difundida nas américas Central e do Sul, além de possuir espécies relacionadas em Madagascar e na África (Gentry, 1988; Lewis, 1987; Killeen *et al.*, 1993; Brown, 1995). Apresenta grande importância econômica devido, principalmente, a sua madeira que é matéria prima de diversos produtos, além de apresentar frutos comestíveis e seiva com propriedades medicinais (Siqueira *et al.*, 1995; Cipriano *et al.*, 2014; Shanley e Medina, 2018). Seus anéis de crescimento são distintos e marcados pelo parênquima marginal em sua madeira difusa porosa (Locosselli *et al.*, 2013).

Para *Tachigali vulgaris* não encontramos registros de que a espécie apresenta anéis de crescimento distintos no tronco (Faria, 2016). Essa espécie apresenta porte médio, ampla distribuição geográfica nos biomas Amazônia e Cerrado (Sousa *et al.*, 2016) e papel importante na dinâmica das comunidades vegetais em que ocorre (Felfili *et al.*, 1999; Franczak *et al.*, 2011; Solórzano *et al.*, 2012). Além disso, apresenta bom potencial de crescimento nas regiões tropicais, sendo recomendada para reflorestamentos em áreas degradadas (Lorenzi, 1992), tendo em vista que é uma espécie pioneira, agressiva, que ocorre em ampla faixa de condições climáticas e edáficas (Carpanezzi *et al.*, 1983). Uma das vantagens econômicas da utilização desta espécie é o rendimento financeiro após uso para recuperação de solos, pois apresenta alto poder calorífico e rendimento de peso e volume no processo de carbonização (Mochiutti *et al.*, 1999). Essa espécie apresenta ainda potencial para substituir o *Eucalyptus* spp. em plantios comerciais, com a vantagem de ser uma espécie nativa que pode promover o estabelecimento de uma cobertura florestal estável em áreas degradadas (Farias *et al.*, 2016).

No primeiro capítulo da dissertação nosso objetivo foi definir critérios de manejo espécie-específico e oferecer as bases para um sistema de exploração florestal sustentável, contribuindo para a conservação de duas espécies amplamente distribuídas na Amazônia e no Cerrado, o jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*), que já foi utilizado com sucesso em análises dendrocronológicas anteriores (Locosselli *et al.*, 2013; 2016; 2017) e o carvoeiro (*Tachigali vulgaris*), espécie utilizada pela primeira vez em avaliações dendrocronológicas. No segundo capítulo avaliamos as respostas dos anéis de crescimento do jatobá-da-mata, de uma floresta da transição Amazônia-Cerrado, a eventos extremos de seca e a picos de temperatura, a fim de compreendermos como essa população responde às mudanças climáticas. As seguintes perguntas nortearam estes capítulos: (i) Os anéis de crescimento de árvores de *H. courbaril* e *T. vulgaris* da transição Amazônia-Cerrado são anuais? (ii) É possível construir os padrões de crescimento do tronco ao longo da vida de *H. courbaril* e *T. vulgaris*? (iii) *H. courbaril* é sensível à variabilidade climática na transição Amazônia-Cerrado?

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

AGUILAR, E. et al. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 110, n. D23, 2005.

BOISIER, J. P. et al. Projected strengthening of Amazonian dry season by constrained climate model simulations. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p. 656, 2015.

BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.

BOTOSSO, P. C.; DE MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação**. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2002.

BRANDO, P. M. et al. Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1839-1848, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, ano 143, n. 238, p. 155-9, 13 dez. 2006.

BRAZ, E. M. et al. **Manejo florestal no Mato Grosso**. Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2013.

BRAZ, E. M. et al. Strategies for achieving sustainable logging rate in the Brazilian Amazon Forest. **Open Journal of Forestry**, v.4, n.2, p.100-105, 2014.

BRIENEN, R. J. W. et al. Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. **Global Change Biology**, v. 16, n. 7, p. 2001-2012, 2010.

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

BRIENEN, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344, 2015.

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. 1-3, p. 256-267, 2006a.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481-493, 2006b.

BROWN, A. D. Fitogeografía y conservación de las selvas de montaña del noroeste de Argentina. In: CHURCHILL, S.P.; BALSLEV, H.; FORERO, E.; LUTEYN, J.L. (eds.). **Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests**. New York: The New York Botanical Garden, p. 663-672, 1995.

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-daterra-firme - *Sclerolobium paniculatum***. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, Circular Técnica, v. 8, p. 10, 1983.

CIPEM – Centro das Indústrias produtoras e Exportadoras de Madeiras de Mato Grosso. **Dados do Setor: Setor de Base Florestal registra crescimento no comércio de produtos.** 2012. Disponível em: <<http://www.cipem.org.br/conteudo.php?sid=44&cid=1637>>. Acesso em: 10 fevereiro. 2019.

CIPRIANO, J. et al. O gênero *Hymenaea* e suas espécies mais importantes. **Caderno de Pesquisa**, v. 26, n. 2, p. 41-51, 2014.

COE, M. T. et al. Feedbacks between land cover and climate changes in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**. 2016.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Springer Science & Business Media, 2013.

CORLETT, R. T. The impacts of droughts in tropical forests. **Trends in plant science**, v. 21, n. 7, p. 584-593, 2016.

COUMOU, D; ROBINSON, A. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 034018, 2013.

COUMOU, D; ROBINSON, A.; RAHMSTORF, S. Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures. **Climatic Change**, v. 118, n. 3-4, p. 771-782, 2013.

ERFANIAN, A.; WANG, G.; FOMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: significantly under-predicted by tropical SST. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 5811, 2017.

ESPINOZA, J. C. et al. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 13, 2011.

FARIA, M. C. G. de. **Potencial madeireiro de 22 espécies arbóreas do Cerrado: caracterização anatômica, física e energética**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

FARIAS, J. et al. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* – *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016.

FELFILI, J. M. et al. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth., sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 2, p. 297-301, 1999.

FRANCZAK, D. D. et al. Changes in the structure of a savanna forest over 66 a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. **Rodriguésia**, v. 62, p. 425-436, 2011.

GENTRY, A. H. Tree species richness of upper Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 85, n. 1, p. 156-159, 1988.

GOURLAY, I. D.; BARNES, R. D. Seasonal growth zones in the wood of *Acacia karroo* Hayne: their definition and implications. **The Commonwealth Forestry Review**, p. 121-127, 1994.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R. Perception of climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 37, p. E2415-E2423, 2012.

HARLEY, M. D. et al. Extreme coastal erosion enhanced by anomalous extratropical storm wave direction. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 6033, 2017.

HILKER, T. et al. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 45, p. 16041-16046, 2014.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Chapter 3: Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In: Global Warming of 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2018.

HOUGHTON, R. A. The worldwide extent of land-use change. **BioScience**, v. 44, n. 5, p. 305-313, 1994.

HUGHES, M. K. Dendrochronology in climatology—the state of the art. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 95-116, 2002.

JENKINS, H. S.; BAKER, P. A.; GUILDERSON, T. P. Extreme drought events revealed in Amazon tree ring records. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**, 2010.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. et al. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific reports**, v. 6, p. 33130, 2016.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. et al. Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5204-5215, 2013.

KELLEY, C. P. et al. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 11, p. 3241-3246, 2015.

KILLEEN, T. J. et al. **Guía de árboles de Bolivia**. Herbario Nacional de Bolivia; Missouri Botanical Garden, 1993.

LE QUÉRÉ, C. et al. Global carbon budget 2016. **Earth Syst. Sci.**, v. 8, n. 2, p. 605–649, 2016.

LEWIS, G. P. Legumes of Bahia. Illustrated by Sue Wickson. **Roy. Bot. Gard. Kew.**, v. 369, 1987.

LEWIS, S. L. et al. The 2010 amazon drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554-554, 2011.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827-832, 2015.

LOCOSSELLI, G. M. et al. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees**, v. 27, n. 1, p. 25-36, 2013.

LOCOSSELLI, G. M.; SCHÖNGART, J.; CECCANTINI, G. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. **Trees**, v. 30, n. 4, p. 1127-1136, 2016.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp.-Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. **Erdkunde**, p. 45-57, 2017.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Nova Odessa: Plantarum**, v.1, p. 373, 1992.

MALHI, Y. et al. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.

MARENGO, J. A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, 2011.

MARIMON, B. S. et al. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia. **Plant Ecology & Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 281-292, 2014.

MARQUES, E. Q. et al. Redefining the Cerrado–Amazonia transition: Implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, p. 1-17, 2019.

MOCHIUTTI, S. et al. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*): Leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. **Comunicado Técnico. Macapá: Embrapa Amapá**, n. 28, p. 5, 1999.

NIELSEN-GAMMON, J. W. The 2011 Texas drought. **Texas Water Journal**, v. 3, n. 1, p. 59-95, 2012.

PHILLIPS, O. L. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009.

RIFAI, S. W. et al. ENSO Drives interannual variation of forest woody growth across the tropics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170410, 2018.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v. 25, n. 1, p. 3-16, 2011.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 46-58, 2008.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Cifor, 2005.

SILGUEIRO, V. et al. Mapeamento da ilegalidade na exploração madeireira entre agosto de 2013 e julho de 2016. **Cuiabá: ICV. Transparência Florestal Mato Grosso**, n. 5, 2018.

SIQUEIRA, J. O. et al. Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. **Belo Horizonte: CEMIG**, 1995.

SOLÓRZANO, A. et al. Perfil florístico e estrutural do componente lenhoso em seis áreas de cerradão ao longo do bioma Cerrado. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.2, p.328-341, 2012.

SOUSA, V. G. et al. Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* LF Gomes da Silva & HC Lima): botânica, ecologia e silvicultura. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2016.

STAAL, A. et al. Synergistic effects of drought and deforestation on the resilience of the south-eastern Amazon rainforest. **Ecological Complexity**, v. 22, p. 65-75, 2015.

VALE, R. et al. A cheia de 2009 na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 4, p. 577-586, 2011.

VAN DER SLEEN, P.; ZUIDEMA, P. A.; PONS, T. L. Stable isotopes in tropical tree rings: theory, methods and applications. **Functional Ecology**, v. 31, n. 9, p. 1674-1689, 2017.



VOSE, R. S. et al. Monitoring and understanding changes in extremes: extratropical storms, winds, and waves. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 3, p. 377-386, 2014.

WALSH, K. J. E. et al. Tropical cyclones and climate change. **Wires Clim Chang**, v. 7 p. 65–89, 2016.

WILLIAMS, A. P. et al. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. **Nature climate change**, v. 3, n. 3, p. 292, 2013.

WORBES, M. Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. **Amazonian Floodplain Forests**, p. 329-346, 2010.

YAMAGUCHI, D. K. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. **Canadian Journal of forest research**, v. 21, n. 3, p. 414-416, 1991.

## CAPÍTULO 1 – MANEJO SUSTENTÁVEL BASEADO EM ANÉIS DE CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

A ser submetido para publicação no periódico: Forest Ecology and Management

### RESUMO

O estudo dos anéis de crescimento das árvores nos permite estabelecer critérios de manejo específicos para a exploração madeireira sustentável. No Brasil, os critérios de manejo estão baseados no diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm e em ciclos de corte (CC) de 25 a 35 anos. Nosso objetivo foi estabelecer critérios para a exploração madeireira sustentável de duas espécies da transição Amazônia-Cerrado, *Hymenaea courbaril* L. e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima. O método GOL (*Growth Oriented Logging*) foi utilizado para estabelecer o DMC e o CC baseados nas taxas de crescimento das árvores. Selecionamos 16 indivíduos de *H. courbaril* e 14 indivíduos de *T. vulgaris*, dos quais obtivemos discos do tronco ou amostras de baquetas utilizando trado de incremento. Lixamos as amostras com lixas de diferentes granulometrias e utilizamos o *software* WinDendro para marcar, contar e medir a largura dos anéis. Verificamos que os indivíduos de *H. courbaril* apresentaram idades entre 66 e 134 anos, incremento médio em diâmetro de  $4,27 \pm 1,12 \text{ mm.ano}^{-1}$ , atingindo o DMC de 54,9 cm com CC de 22,6 anos. *Tachigali vulgaris* apresentou idades entre 10 e 27 anos, incremento médio em diâmetro de  $6,97 \pm 2,58 \text{ mm.ano}^{-1}$ , atingiu o incremento máximo em volume com 21 anos, DMC de 17,3 cm e CC de 6 anos. Nossos resultados indicam que a lei em vigência impede o manejo de *T. vulgaris* e favorece o manejo não sustentável de *H. courbaril*.

**Palavras-chave:** dendrocronologia, madeira, jatobá-da-mata, carvoreiro.

### ABSTRACT

The study of tree rings allows us to establish specific management criteria for the sustainable exploitation of different species. In Brazil, the management criteria are based on the minimum logging diameter (MLD) of 50 cm, with felling cycles (FC) of 25 to 35

years. Our objective was to establish criteria for the sustainable exploitation of two species of the Amazonia-Cerrado transition, *Hymenaea courbaril* L. and *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima. We used the Growth Oriented Logging method to establish MLD in FC based on tree growth rates. We selected 16 individuals of *H. courbaril* and 14 of *T. vulgaris*, and obtained trunk discs or samples of drumsticks using an increment borer. We sanded the samples with different grades and used WinDendro software to mark, count and measure the spread of the tree rings. We found that the individuals of *H. courbaril* presented ages between 66 and 134 years, mean increase in diameter of  $4.27 \pm 1.12$  mm.year<sup>-1</sup>, reaching the MLD of 54.9 cm with FC of 22.6 years. *Tachigali vulgaris* presented ages between 10 and 27 years, mean increase in diameter of  $6.97 \pm 2.58$  mm.year<sup>-1</sup>, reached the maximum increase in volume at 21 years, MLD of 17.3 cm and FC of 6 years. Our results indicate that the current law prevents the management of *T. vulgaris*, and favors the unsustainable management of *H. courbaril*.

**Keywords:** dendrochronology, wood, jatobá-da-mata, carvoeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

Em Mato Grosso, a indústria madeireira é a 4<sup>a</sup> principal atividade econômica do estado, representando cerca de 5,4% do Produto Interno Bruto estadual, gerando cerca de 90 mil empregos (CIPEM, 2018). Para que o manejo florestal sustentável seja efetivo em florestas nativas, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) estabelece fundamentos mínimos de extração relacionados ao estoque de madeira a ser repostado ( $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), a duração do ciclo de extração (25 a 35 anos) e também ao diâmetro mínimo de corte (50 cm) (Brasil, 2006). Apesar da regulamentação atual ter como objetivo a preservação e conservação dos recursos naturais, os critérios do IBAMA não implicam necessariamente na sustentabilidade das espécies de árvores nativas que são amplamente extraídas (Braz et al., 2014). Em muitos casos a exploração madeireira tem sido feita sem fundamentação técnica que promova o potencial produtivo das florestas, onde deve-se levar em consideração as características de cada espécie dentro do manejo (Braz et al., 2012). Assim, espécies utilizadas para plantio com padrão de crescimento lento podem estar sendo exploradas em excesso, enquanto que aquelas de

rápido crescimento não têm seu potencial madeireiro amplamente explorado (Schöngart, 2008).

Conhecendo-se os padrões de crescimento das árvores é possível realizar um manejo eficiente garantindo uma extração sustentável e a conservação de florestas tropicais (Vetter e Botosso, 1989; Kozlowski e Pallardy, 1996), bem como aumentar nossa compreensão geral sobre o funcionamento das florestas (Ehrlich e Wilson, 1991). Contudo, um dos principais obstáculos para o manejo sustentável das florestas tropicais é obter estimativas confiáveis de idade das árvores e taxas de crescimento para determinar volumes máximos de extração e ciclos ideais de corte (Brienen e Zuidema, 2006a; Schöngart, 2008; Fortini et al., 2015). Apesar de ainda pouco utilizadas, as informações a respeito das taxas de crescimento das espécies tropicais de interesse comercial podem determinar o sucesso no manejo de florestas (Brienen e Zuidema, 2006b).

Em muitas florestas tropicais a sazonalidade da precipitação pode induzir ritmos anuais na fisiologia de muitas espécies (D'Arrigo et al., 1994; Stahle et al., 1995; Brienen e Zuidema, 2006a, b; Locosselli et al., 2013), levando à formação de anéis anuais de crescimento distintos no tronco (Worbes, 2002). A dendrocronologia, que estuda os anéis de crescimento, tem sido amplamente utilizada em espécies arbóreas de florestas tropicais (Mattos et al., 2011). A trajetória de crescimento de uma determinada espécie é considerada como uma representação geral da estratégia e dinâmica do seu crescimento (Schöngart, 2008) e pode ser utilizada para planejamentos de manejos florestais e exploração econômica de espécies madeireiras (Mattos et al., 2011). Nesse caso, a dendrocronologia de espécies tropicais permite determinar, por exemplo, a produção anual, os períodos de declínio, o diâmetro mínimo de corte e a duração do ciclo de crescimento e indicar uma exploração econômica sustentável (Gourlay et al., 1994; Brienen e Zuidema, 2006b; Schöngart, 2008; Andrade et al., 2019).

*Hymenaea courbaril* L. (jatobá-da-mata) e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima (carvoeiro), ambas da família Fabaceae, são espécies utilizadas para fins comerciais (Locosselli et al., 2013; Farias et al., 2016), são árvores de médio a grande porte (Lima, 2004; Carvalho, 2007), amplamente difundidas na região neotropical (Lewis, 1987; Gentry, 1988; Killeen, et al., 1993). *Hymenaea courbaril* possui alto valor econômico, sendo a madeira e seus frutos utilizados como matéria prima de diversos produtos (Siqueira et al., 1995; Lorenzi, 2008; Shanley e Medina, 2018). Por sua vez, *Tachigali vulgaris* possui rápido crescimento (Sousa et al., 2016), elevada produção de serapilheira e capacidade de fixação de nitrogênio, o que a torna uma espécie com

potencial de recuperação de áreas degradadas e indicada para compor sistemas agroflorestais (Dias et al., 1993). Além disso, esta espécie auxilia na recomposição da biomassa florestal após eventos de fogo (Reis et al., 2018). Esta espécie também possui importância econômica devido ao alto poder calorífico de sua madeira comumente utilizada em carvoarias (Sousa et al., 2016) e pode inclusive substituir o gênero *Eucalyptus* em plantios comerciais (Farias et al., 2016).

Tendo em vista que informações dendrocronológicas são importantes para validar, revisar e desenvolver iniciativas de manejo florestal (Mattos et al., 2011; Schöngart et al., 2017), o objetivo deste estudo foi reconstruir os padrões de crescimento do jatobá-da-mata e do carvoeiro, duas espécies nativas da Amazônia e do Cerrado. Nossas hipóteses foram: (i) *H. courbaril* e *T. vulgaris* que ocorrem na transição Amazônia-Cerrado possuem anéis de crescimento no tronco; (ii) por meio das taxas de crescimento das referidas espécies podemos sugerir o diâmetro mínimo de corte (DMC) e categorizá-las em ciclos de corte (CC); e (iii) as espécies apresentam diferenças na dinâmica de incremento radial devido a uma ser secundária tardia e a outra ser pioneira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na região leste do estado de Mato Grosso e inserida na transição entre os dois maiores biomas brasileiros, a Amazônia e o Cerrado, consistindo em um grande mosaico de savanas e florestas (Ratter et al., 1973; Marimon et al., 2006, 2014). O clima é do tipo tropical *Aw*, de acordo com a classificação de Köppen, com um período seco bem definido de abril a setembro e um chuvoso entre outubro e março, sendo que a precipitação é de aproximadamente 1.400 mm por ano e a temperatura média anual de 25 °C (Marimon et al., 2010, 2012; Alvares et al., 2013).

Coletamos as amostras de *Hymenaea courbaril* em um fragmento de aproximadamente 7.500 hectares de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Legal da Fazenda Vera Cruz (14°50'47''S e 52°08'37''W), no município de Nova Xavantina, Mato Grosso (Figura 1). Na área estudada o estrato arbóreo varia entre 9 e 22 m, com diversos

indivíduos emergentes de *H. courbaril*, possui sub-bosque bem definido e elevado número de espécies amazônicas (Mews et al., 2012; Marimon et al., 2014).

Coletamos as amostras de *Tachigali vulgaris* em um cerradão no Parque Municipal do Bacaba (14°41'09"S e 52°20'09"W), também no município de Nova Xavantina, Mato Grosso, sendo uma unidade de conservação com área de aproximadamente 500 ha (Abad e Marimon, 2008) (Figura 1). No Parque Municipal do Bacaba a vegetação predominante é o cerrado sentido restrito, mas possui também cerradão, floresta de galeria e cerrado rupestre, sendo que *T. vulgaris* ocorre predominantemente nas áreas de cerradão, cerrado denso e na transição para o cerrado típico (Marimon-Junior e Haridasan, 2005; Franczak et al., 2011; Mews et al., 2012; Morandi et al., 2016).

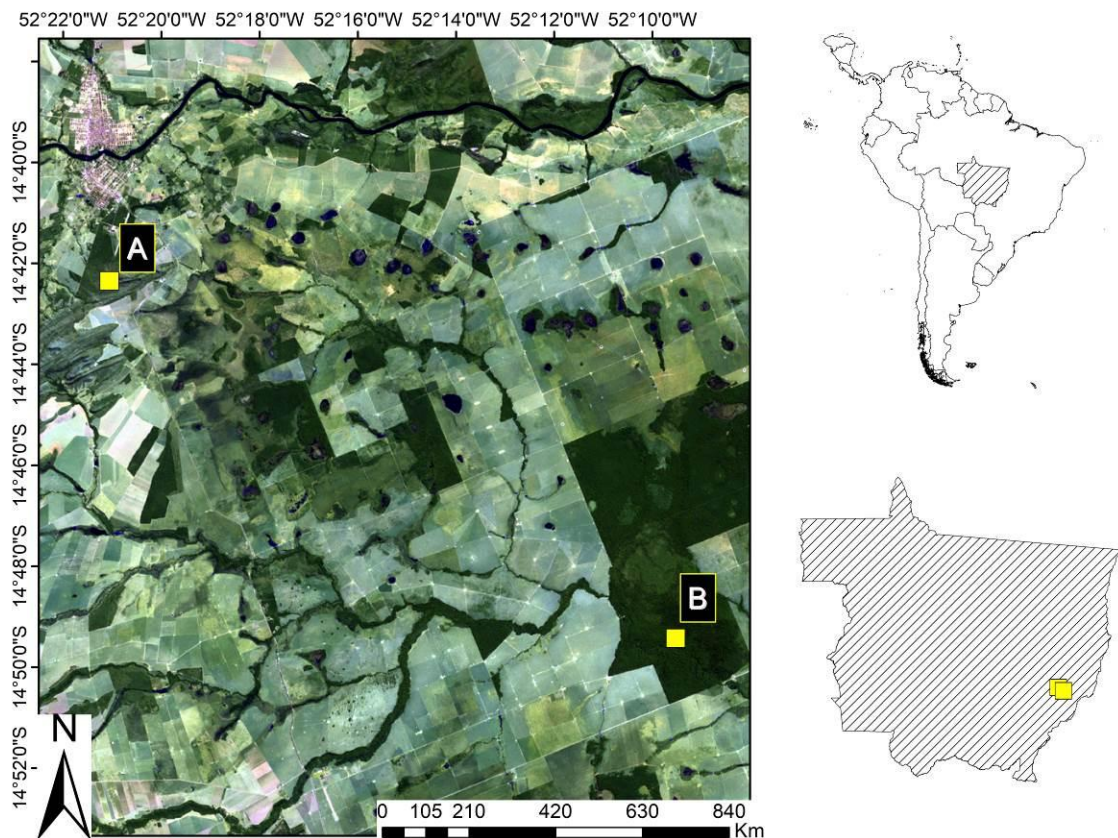


Figura 1. Localização da área de estudo a partir da imagem do satélite Landsat 7: América do Sul e Brasil; Estado de Mato Grosso e área de estudo (amarelo); parte do município de Nova Xavantina-MT indicando o local onde foram realizadas as coletas no Parque Municipal do Bacaba (A) e na Fazenda Vera Cruz (B).

## 2.2. Espécies em estudo

*Hymenaea courbaril* é uma espécie semi-decídua que pode alcançar 35 m de altura, entre 40 e 80 cm de diâmetro à altura do peito (Carvalho, 2003), sendo considerada uma espécie emergente, de tronco cilíndrico, casca lisa e densidade da madeira de  $0,96 \text{ g.cm}^{-3}$  (Sausen et al., 2017). Apresenta densidade populacional geralmente baixa (Grogan e Schulze, 2012) e a idade pode ultrapassar os 300 anos (Locosselli et al., 2017). Em geral, floresce nos meses de outubro a dezembro e frutifica entre dezembro e agosto (Carvalho, 2007). *Tachigali vulgaris* é brevi-decídua, apresenta porte médio e pode alcançar até 25 m de altura na idade adulta, típica de dossel, a casca é rugosa, sendo que a densidade da madeira é de  $0,74 \text{ g.cm}^{-3}$  (Sousa et al., 2016). Apresenta maiores densidades populacionais, quando comparada ao jatobá-da-mata, e possui um ciclo de vida curto, geralmente menor que 30 anos (Felfili et al., 2000; Franczak et al., 2011). Floresce nos meses de maio a agosto e frutifica entre setembro e outubro (Sousa et al., 2016).

Ambas são bem adaptadas a solos ácidos e/ou de fertilidade química baixa, mas sempre ocorrem em terrenos bem drenados e, dependendo da localidade, apresentam crescimento relativamente rápido nos primeiros anos de vida (Siqueira et al., 1995; Sousa et al., 2016; Duarte et al., 2016). São também espécies importantes nas florestas em que estão presentes, tendo apresentado elevado valor de importância em análises fitossociológicas em diversas áreas (Marimon-Junior e Haridasan, 2005; Miguel et al., 2011; Solórzano, 2012; Minami et al., 2017). *Tachigali vulgaris* é ainda considerada uma espécie que acelera a dinâmica das comunidades florestais, pois a mortalidade desta espécie e a queda resultante de indivíduos senis de grande porte causam aberturas de clareiras que contribuem para a manutenção de espécies que exigem níveis de luz mais elevados para se estabelecerem (Franczak et al., 2011).

## 2.3. Coleta de dados

Primeiramente, para a comprovação da anuidade dos anéis de crescimento das espécies na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, no estado de Mato Grosso, selecionamos dois indivíduos com idades conhecidas para cada espécie, que foram amostrados nas dependências do *campus* de Nova Xavantina da Universidade do Estado de Mato Grosso. Coletamos duas baquetas (amostras cilíndricas não destrutivas, desde a

superfície do tronco (casca) até a medula da árvore) por indivíduo para *H. courbaril* e um disco por indivíduo para *T. vulgaris*.

Em seguida, para as análises de incremento radial, entre março e agosto de 2017, coletamos baquetas em 39 indivíduos vivos e adultos de *H. courbaril*, todos na Reserva Legal da Fazenda Vera Cruz. Para a coleta das baquetas utilizamos um trado de incremento de 1,5 cm de diâmetro e 1 m de comprimento acoplado a uma furadeira motorizada. Coletamos quatro raios perpendiculares de cada árvore, a aproximadamente 1 m em relação ao solo, desde a superfície até o ponto central do tronco (Krottenthaler et al., 2015). Após a coleta fechamos os orifícios no tronco com cortiça natural (Locosselli et al., 2016). Para a coleta de amostras de *T. vulgaris*, com o auxílio de uma motosserra, cortamos discos de troncos (com aproximadamente 15 cm de espessura), à uma altura de 1,3 m em relação ao solo, de 14 indivíduos mortos com DAP  $\geq$  20 cm, todos no Parque Municipal do Bacaba. Os indivíduos coletados morreram e/ou tombaram em virtude de fortes ventanias que ocorreram na região nos anos de 2017 e 2018.

Fixamos as baquetas de *H. courbaril* em suportes de madeira com o uso de barbantes. Os discos e as baquetas secaram ao ambiente natural e, após a secagem, polimos as amostras com lixas de diferentes granulometrias (60, 120, 220, 300, 400, 600, 1200 e 2000). Após o polimento, escaneamos todas as amostras com o Scanner EPSON Expression 12000XL.

#### 2.4. Análise dos anéis e modelos de crescimento

Utilizamos o *software* WinDendro para marcar, contar e medir a espessura dos anéis de crescimento nas amostras de madeira analisadas. Para *H. courbaril*, os anéis de crescimento foram marcados e contados ao longo de 1 a 3 raios por indivíduo, enquanto que para *T. vulgaris* foram marcados e medidos de 4 a 5 raios por indivíduo. Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade do Estado de Mato Grosso, *campus* de Nova Xavantina e no Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto de Biociências – USP (Universidade de São Paulo, *campus* Capital).

Após a datação, o incremento de diâmetro das espécies foi determinado a partir do modelo de manejo denominado *Growth Oriented Logging* (GOL), que se baseia em critérios específicos e define os diâmetros mínimos e ciclos de corte (Schöngart, 2008). Primeiro, as medidas das taxas de crescimento anual das amostras entre a medula e a casca foram acumuladas para formar curvas de crescimento individuais (Brienen e Zuidema,



2006a, 2007). A curva média de crescimento do diâmetro acumulativo descreveu a relação entre a idade da árvore e o diâmetro das espécies (Schöngart et al., 2007; Schöngart, 2008). Segundo, as idades das árvores determinadas a partir da contagem dos anéis de crescimento estavam relacionadas com o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, em cm) correspondente de vários indivíduos. Ambas as relações entre idade e diâmetro foram ajustadas a uma função linear usando o diâmetro como variável independente:

$$DAP = a/1 * ano$$

Onde  $a$ , o coeficiente angular da equação, foi obtido durante o ajuste da regressão linear para cada espécie.

### 2.5. Cálculos de volume, diâmetro mínimo e ciclos de corte

Para calcular o volume de madeira determinamos, para cada espécie, a relação entre o DAP e a altura comercial ( $h$ , altura do ramo mais baixo, em m) usando uma função logarítmica:

$$A = a + b \ln(DAP)$$

onde  $a$  e  $b$  são parâmetros específicos para cada espécie originados a partir dos dados da altura e do DAP obtidos em campo.

Para estimar o crescimento em volume de madeira comercial aplicamos a seguinte equação:

$$v = h (0,5DAP/100)^2 \mu(0,65)$$

onde  $v$  = volume comercial de madeira ( $m^3$ ) e 0,65 foi o fator comumente aplicado para corrigir a forma de cone do tronco (Dauber et al., 2005). Assim, para cada idade ao longo da vida de ambas as espécies estimamos o DAP, a altura total e o volume correspondente (Schöngart, 2008). Seguindo o que foi proposto pelo referido autor, a partir do crescimento cumulativo em diâmetro ao longo da vida (CrcD), altura e volume para cada idade ( $t$ ), obtivemos o Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) a partir das seguintes equações:

$$ICA = CrcD_{(t+1)} - CrcD_{(t)}$$

$$IMA = CrcD_{(t)}/t$$

Assim, a partir do modelo de incremento de volume estimamos, para cada espécie, os critérios para um manejo específico de Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) e Ciclos de Corte (CC) aplicando o conceito GOL, que define o melhor período para registros entre as idades o os incrementos de volume máximo ( $ICA_{max}$ ) e médio ( $IMA_{max}$ ) e representa o

período em que a extração da madeira aproveita o potencial máximo de cada espécie (Schöngart, 2008). O  $ICA_{max}$  é o DMC (Schöngart, 2007) e o CC é estimado pelo tempo médio que as espécies levam para passar por classes de 10cm até atingir o DAP definido (Andrade et al., 2019).

A partir do crescimento individual em diâmetro determinamos a faixa de diâmetros que as árvores remanescentes, após extração seletiva de madeira, devem possuir para atingir o DMC dentro de um CC projetado (Brienen e Zuidema, 2006a). Assim, a árvore da população que cresce mais lentamente é utilizada para calcular o tamanho mínimo de árvores remanescentes capazes de alcançar o DMC e o indivíduo que cresce mais rápido permite estimar o tamanho das árvores remanescentes que não atingirão o DMC no próximo ciclo de corte.

### 3. RESULTADOS

Comprovamos a anuidade dos anéis de crescimento para ambas as espécies. Para *Hymenaea courbaril*, datamos dois indivíduos que foram plantados no ano de 2000 e coletados ao final de 2017, nos quais registramos 17 anéis de crescimento (Figura 2). Para *Tachigali vulgaris* datamos dois indivíduos que foram plantados em 2010 e que morreram (em pé) no ano de 2016, onde registramos seis anéis de crescimento (Figura 3).

Dentre os 39 indivíduos de *Hymenaea courbaril*, para os quais coletamos amostras de tronco (baquetas), apenas 16 puderam ser datados de modo eficiente, para os quais registramos idades entre 66 e 134 anos (Tabela 1). Os demais indivíduos de *H. courbaril* que não puderam ser datados foi em virtude da ocorrência de anéis falsos ou por serem indivíduos velhos e apresentarem os anéis dos últimos anos de vida muito próximos entre si, o que dificultou uma datação correta. Todos os 14 discos coletados de *Tachigali vulgaris* foram datados e apresentaram idades entre 10 e 27 anos (Tabela 1).

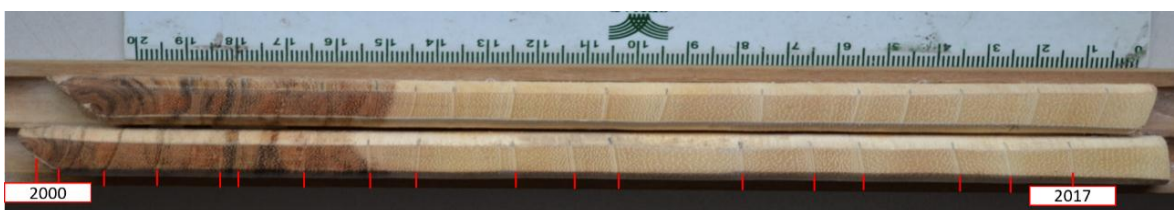


Figura 2. Amostra de tronco (baqueta) de indivíduo de *Hymenaea courbaril* de idade conhecida, plantado em 2000 e coletado em 2017, em que identificamos 17 anéis de crescimento (linhas vermelhas).

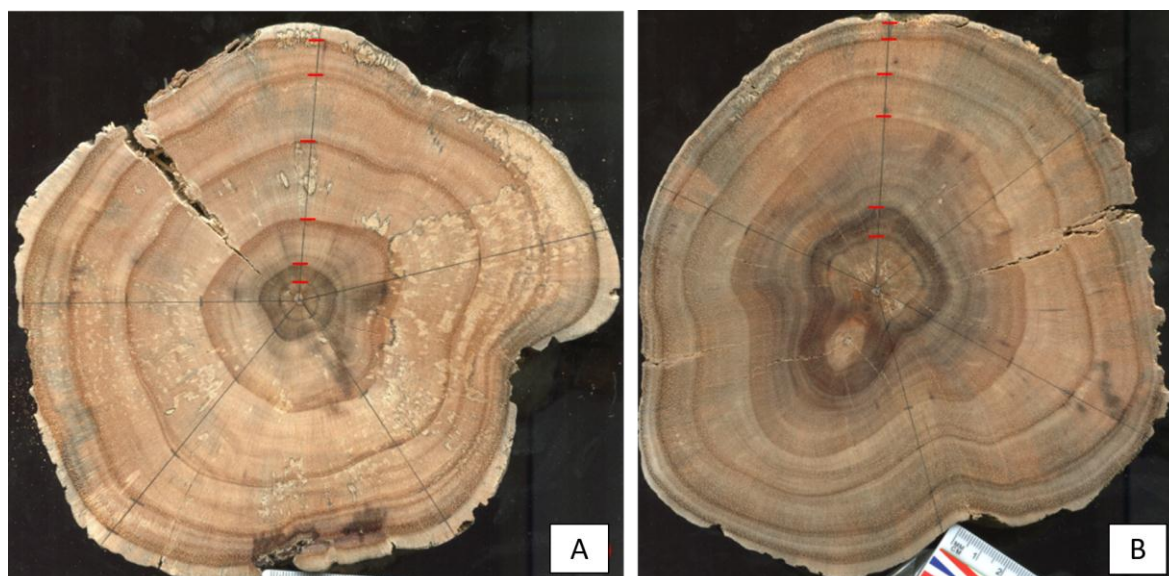


Figura 3. Amostras de tronco (discos) de indivíduos de *Tachigali vulgaris* de idade conhecida, plantados no ano de 2010 que morreram no ano de 2016, com seis anéis de crescimento (linhas vermelhas).

Tabela 1. Descrição das características dos indivíduos das duas espécies que foram analisados. DAP= diâmetro à altura do peito (a 1,3 m do solo).

	<i>Hymenaea courbaril</i>			<i>Tachigali vulgaris</i>		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
<b>Idade (anos)</b>	66	101,5	134	10	18,7	27
<b>DAP (cm)</b>	37,8	56,7	79,2	12,7	19,4	28,1
<b>Altura (m)</b>	19,6	22,2	28,2	7,7	11,2	15,2

As curvas de crescimento em diâmetro acumulado mostraram as diferenças de crescimento intra e interespecíficas, sendo que na curva média observamos a relação entre o crescimento e a idade para cada uma das espécies, ajustada pelo modelo (Figura 4). Os valores dos coeficientes de correlação e os ajustes da relação DAP-idade foram significativos (Tabela 2). *Hymenaea courbaril* atingiu 50 cm de DAP com idade média de 100 anos, enquanto que nenhum dos indivíduos de *T. vulgaris* analisados atingiu o DAP mínimo de 50 cm para o corte estabelecido pela legislação em vigor. O incremento diamétrico médio anual dos indivíduos foi de  $4,27 \pm 1,12 \text{ mm.ano}^{-1}$  para *H. courbaril* e  $6,97 \pm 2,58 \text{ mm.ano}^{-1}$  para *T. vulgaris*.

A partir dos modelos de crescimento em volume aplicamos o modelo GOL, em que o período ótimo de corte é o ponto onde o incremento corrente anual (ICA) apresenta o

valor máximo. *Hymenaea courbaril* apresentou maior ICA aos 113 anos, com DAP de 54,9 cm e volume de 3,34 m<sup>3</sup> e *T. vulgaris* atingiu ICA máximo aos 21 anos, com DAP de 17,3 cm e volume de 0,16 m<sup>3</sup>. O ciclo de corte (CC) estimado pelo tempo médio de passagem de classes de 10 cm de diâmetro até atingir o ICA máximo foi de 22,6 anos para *H. courbaril* e 6 anos para *T. vulgaris* (Figura 5).

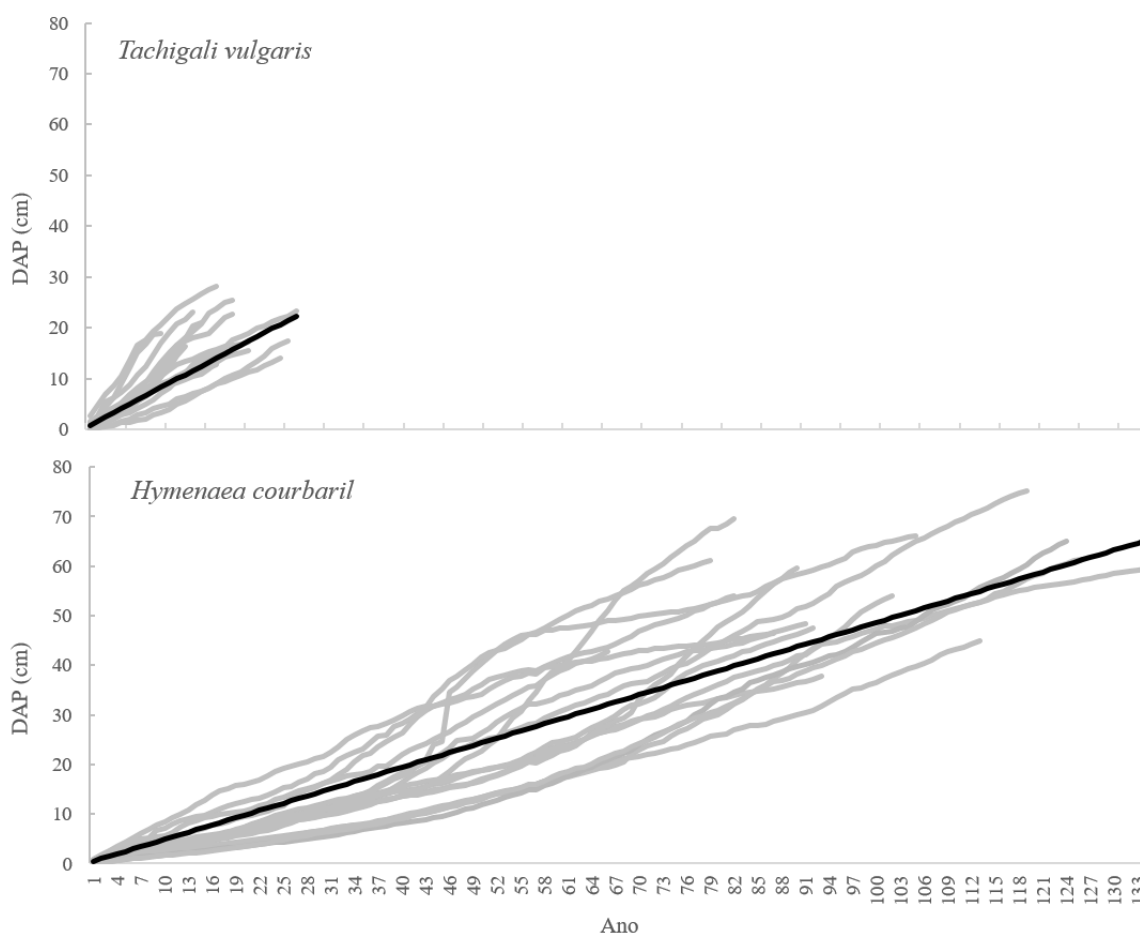


Figura 4. Relação entre o crescimento em DAP e a idade dos indivíduos de *Tachigali vulgaris* e de *Hymenaea courbaril*. As linhas cinza representam a média do crescimento individual de cada amostra, as linhas pretas representam o crescimento médio para cada espécie ajustado pelo modelo.

Tabela 2. Coeficientes de correlação e estatística da relação DAP-idade das espécies estudadas. Para cada espécie são apresentados os valores de  $a$  (coeficiente angular) dos ajustes da relação DAP e idade obtidos a partir dos dados coletados em campo.

Espécie	Equação	$r$ ( $p < 0,001$ )
<i>Hymenaea courbaril</i>	DAP = 0,4862 * ano	0,97
<i>Tachigali vulgaris</i>	DAP = 0,8255 * ano	0,98

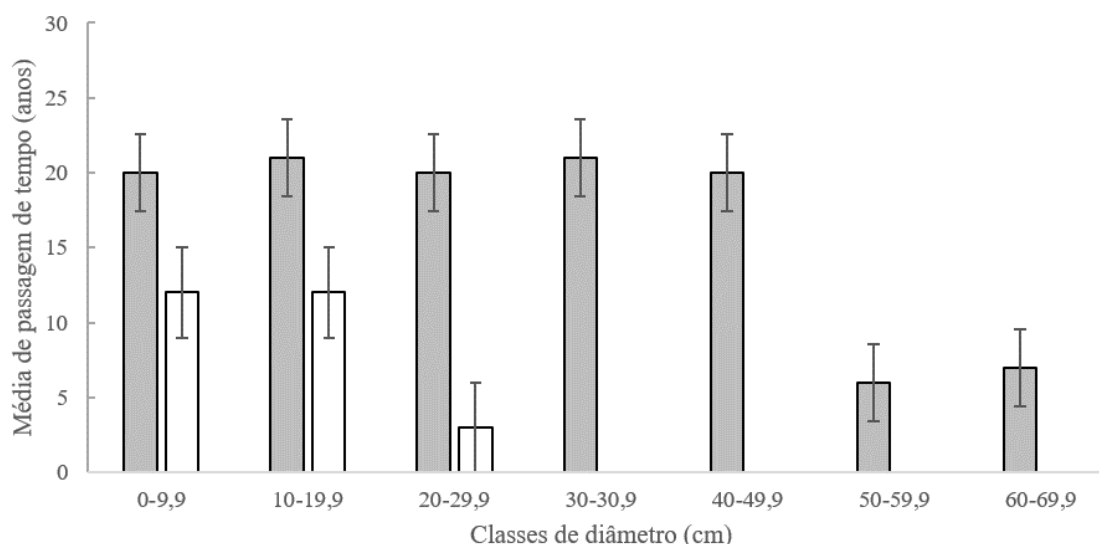


Figura 5. Tempo médio de passagem através de classes de 10 cm de diâmetro para *Hymenaea courbaril* (cinza) e *Tachigali vulgaris* (branca). Linhas verticais indicam o desvio padrão.

As trajetórias individuais de crescimento cumulativo são mostradas para cada uma das espécies, juntamente com o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) (Figura 6). Para cada espécie, calculamos a faixa de tamanho das árvores que potencialmente atingirão o DMC nos ciclos de corte individuais calculados (Figura 6). A faixa com o primeiro intervalo de diâmetro à altura do peito representa as árvores que atingirão o ponto de colheita em ciclos de 22,5 anos para *H. courbaril* e 6 anos para *T. vulgaris*, enquanto que o segundo intervalo representa os indivíduos que potencialmente alcançarão os diâmetros mínimos nos ciclos de corte estimados (Figura 6).

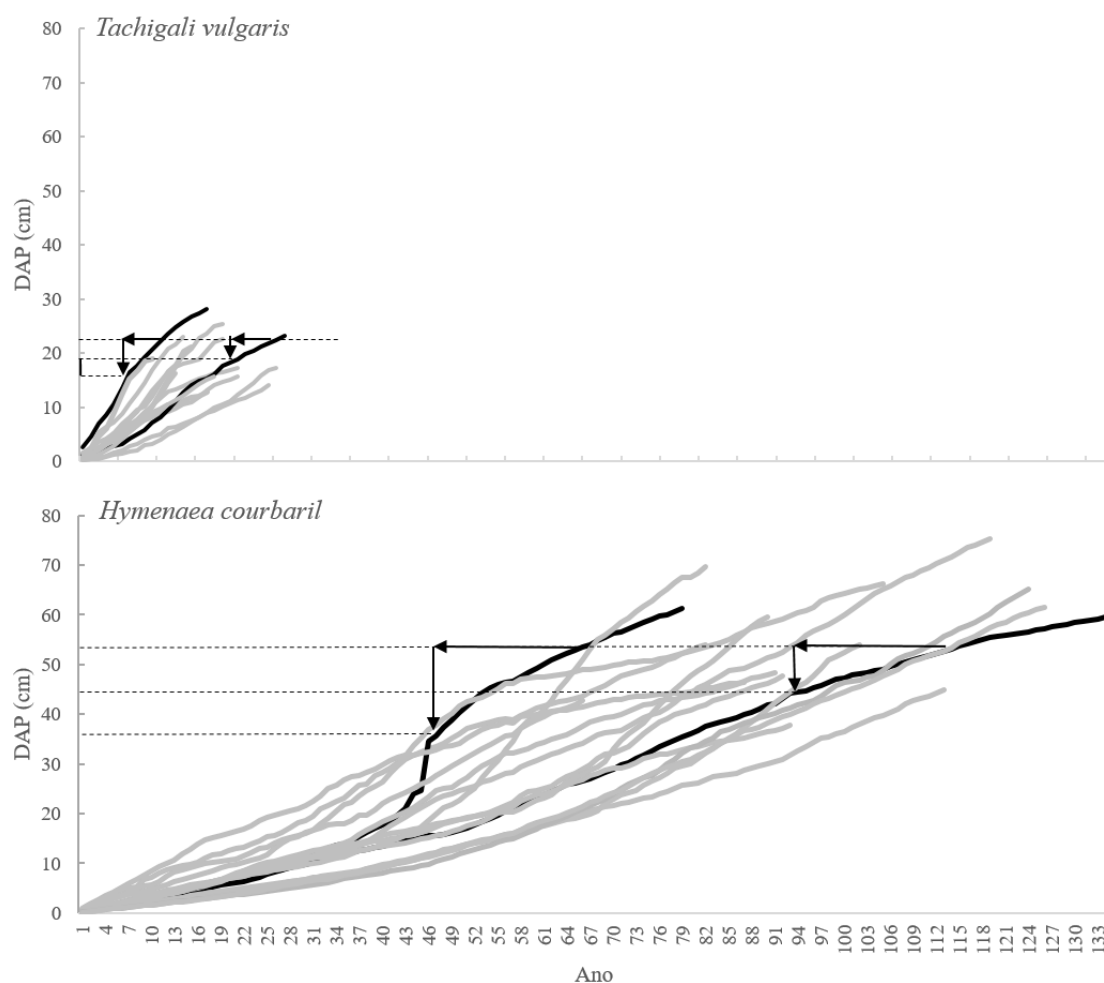


Figura 6. Relações de idade-diâmetro das duas espécies de estudo obtidas a partir das trajetórias de incremento cumulativo individuais (linhas cinzas) e uma representação de como os tamanhos mínimo e máximo de culturas futuras podem ser derivados. Os limites foram determinados a partir da trajetória dos indivíduos que cresceram mais rápido e mais lentamente de cada espécie (linhas pretas) antes de atingirem o DMC (Diâmetro Mínimo de Corte) e determinar o tamanho de acordo com os ciclos de corte (siga as setas). Esses tamanhos delimitam as faixas de diâmetro das árvores que podem, potencialmente, exceder o DMC em ciclos de corte específicos. As árvores acima do limite superior devem crescer até o tamanho da colheita em 22,5 anos para *Hymenaea* e 6 anos para *Tachigali*, enquanto as árvores acima do limite inferior são potencialmente capazes de atingir o DMC. As setas verticais indicam a faixa de tamanho das árvores que atingirão o DMC nos ciclos de corte.

#### 4. DISCUSSÃO

Durante muitos anos a formação anual de anéis de crescimento foi negligenciada em florestas tropicais, entretanto, estudos recentes evidenciaram que muitas espécies de árvores apresentam anuidade de anéis de crescimento em diversos ecossistemas tropicais em resposta a sazonalidade climática (Zuidema et al., 2012; Locosselli et al., 2013; Brien et al., 2016; Schöngart et al., 2017). Comprovando nossa primeira hipótese,

observamos que indivíduos de *Hymenaea courbaril* e *Tachigali vulgaris*, que ocorrem na transição Amazônia-Cerrado, apresentam anéis de crescimento no tronco.

Este é o primeiro registro de anéis anuais para *Tachigali vulgaris*. Encontramos dificuldades em datar amostras de baquetas de *T. vulgaris* devido ao fato desta espécie apresentar anéis descontínuos e irregulares, o que nos levou a trabalhar apenas com amostras de discos do tronco. Assim, evidenciamos a importância e necessidade de outros estudos que caracterizem os anéis de crescimento desta espécie.

A definição dos diâmetros mínimos e dos ciclos de corte foi possível devido a curva de diâmetro médio apresentar alta relação com as trajetórias de crescimento individuais, revelando baixa variedade intraespecífica da população. Entretanto, quando comparado a outros estudos, o mesmo não foi observado para a variação intraespecífica entre diferentes comunidades. *Hymenaea courbaril* possui ampla distribuição por toda região neotropical (Lewis, 1987; Gentry, 1988; Killeen, et al., 1993) e Locosselli et al. (2017) evidenciaram que essa espécie apresenta alta variação nas taxas de crescimento em diferentes biomas. *Tachigali vulgaris*, por sua vez, ocorre em todos os estados da Amazônia legal (Martorano et al., 2018), e apresenta grande variação em diâmetro máximo, dependendo da localização (Salomão et al., 2014; Sousa et al., 2016). Essas variações intraespecíficas são comumente reportadas em espécies tropicais (Leite et al., 2016; Rosa et al., 2017; Schöngart et al., 2015, 2017) e geralmente são atribuídas como resposta às variações na disponibilidade de água, luz, nutrientes e também variações genéticas (Brienen e Zuidema, 2006b; Brienen et al. 2010; Free et al., 2014). A grande faixa de ocorrência das espécies em estudo, bem como as variações de crescimento das mesmas, coloca em evidência a importância da regionalização de informações dendrocronológicas que possam ser utilizadas em iniciativas de manejo florestal, como a determinação do diâmetro mínimo de corte e o ciclo de corte específicos.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), na portaria nº 253/2006, definiu que as árvores de espécies da Amazônia Legal necessitam ter um diâmetro mínimo de corte de 50 cm no momento da extração. Contudo, esse critério não leva em consideração as trajetórias de crescimento individual das diferentes espécies arbóreas (Braz et al., 2012). *Hymenaea courbaril* apresentou incremento anual de 4,3 mm.ano<sup>-1</sup> e todos os indivíduos analisados ultrapassaram os 50 cm de DAP. Por outro lado, *T. vulgaris* apresentou incremento anual de 6,9 mm.ano<sup>-1</sup>, quase o dobro quando comparado ao jatobá-da-mata, contudo, a maioria dos indivíduos não ultrapassou 30 cm de DAP, evidenciando também grande variação interespecífica. A

exploração madeireira sustentável do jatobá-da-mata está dentro do parâmetro de DMC estabelecido pelo IBAMA, mas para o carvoeiro da transição Amazônia-Cerrado, a exploração madeireira fica legalmente inviabilizada, já que a espécie não atinge o DMC.

Com relação ao incremento anual verificamos que os valores aqui registrados para o jatobá-da-mata ficaram abaixo dos observados por Tonini et al. (2005) em um plantio de sete anos, no estado de Roraima, que registraram  $12 \text{ mm ano}^{-1}$ , que são bem superiores aos observados em florestas naturais na Amazônia. Nossos valores ficaram próximos aos encontrados por Locosselli et al. (2017), por exemplo, que realizaram análises em *H. courbaril* em diferentes biomas naturais e registraram taxas anuais de crescimento máximo em diâmetro de  $4,1 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Outro exemplo é o estudo desenvolvido por Schulze et al. (2008), que obtiveram diâmetro máximo de  $4,2 \text{ mm.ano}^{-1}$  para o jatobá-da-mata crescendo ao leste e sul da Amazônia. Grogan e Schulze (2012) analisaram durante 12 anos o crescimento de diversas espécies no sudeste da Amazônia e encontraram para *Hymenaea* incremento máximo de  $6,0 \text{ mm.ano}^{-1}$ , valor próximo ao que encontramos.

Para o carvoeiro, nossos valores de crescimento anual ficaram abaixo aos observados em outros estudos. Salomão et al. (2014), avaliando a dinâmica de um reflorestamento na porção leste da Amazônia observaram para *T. vulgaris* crescimento em diâmetro de  $20 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Yared (1990), por sua vez, também na região leste da Amazônia, observou  $34 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Uma possível explicação para os baixos valores de crescimento máximo anual que encontramos para *T. vulgaris* é que, em muitos indivíduos coletados as copas estavam tomadas por lianas, o que pode ter provocado redução no crescimento (Engel et al., 1998).

Outra questão é que, segundo a legislação, os ciclos de corte (CC) para as espécies nativas da área de estudo necessitam ser de no mínimo 25 e no máximo 35 anos. *Hymenaea courbaril* apresentou CC de 22,6 anos, com DMC de 54,9 cm. Esses valores ficaram próximos aos estabelecidos pela legislação, contudo, em geral *H. courbaril* apresenta alta variação nas taxas de incremento anual em decorrência dos diferentes biomas em que ocorre (Locosselli et al., 2017). Os resultados encontrados por Andrade et al. (2019) em florestas de terra firme no sul da Amazônia, com CC de 24,2 anos e DMC de 64,9 cm, podem ser utilizados como exemplo para demonstrar essa ampla variação de valores registrados para *H. courbaril*. *Tachigali vulgaris*, por sua vez, não se encaixou nos parâmetros legais, visto que apresentou CC de 6 anos, com DMC de 17,3 cm. Entretanto, se aplicadas as normas de manejo sugeridas no presente estudo, a exploração madeireira pode ser bastante rentável, visto que a espécie apresenta elevada taxa de incremento anual



e reduzido ciclo de corte. Além disso, *T. vulgaris* pode ser uma espécie indicada para a produção de energia, visto que sua madeira é similar à do eucalipto e a espécie apresenta características de plantio mais eficientes que a sua similar exótica (Lima, 2004; Barcellos et al., 2005; Farias et al., 2016).

Como estratégia de manejo, levando em conta o incremento médio anual de ambas as espécies, verificamos que *T. vulgaris* é típica de estágio iniciais de sucessão, apresenta baixa tolerância a sombra e possui ciclo de vida curto (Martorano et al., 2018), o que provavelmente influencia esta espécie a apresentar elevadas taxas de crescimento anual, lhe permitindo alcançar mais rapidamente o dossel (Franczak et al., 2011). Enquanto que *H. courbaril* é clímax tardia e com ciclo de vida longo (Carvalho, 2007), o que pode explicar seu crescimento mais lento, em comparação ao carvoeiro. Assim, os dados sobre o diâmetro mínimo de corte, baseados nas trajetórias individuais das espécies, podem auxiliar no momento da adoção de metodologias e critérios de manejo adequadas.

Diferentes taxas de incremento em diâmetro e volume, determinadas para as espécies tropicais de interesse madeireiro, evidenciam que o sistema de controle vigente, que aplica o mesmo diâmetro mínimo e ciclo de corte a todas as espécies não se mostra sustentável (Schöngart, 2008; Andrade et al., 2019). Os anéis de crescimento das árvores podem fornecer dados confiáveis de análises retrospectivas diretas de idades e taxas de crescimento individual para as espécies de interesse (Schöngart, 2008). Assim, devido as variações intra e interespecíficas observadas entre as espécies, têm-se registrado um aumento dos estudos com a finalidade de definir critérios específicos de comercialização e corte de espécies tropicais, levando em consideração as taxas de crescimento individuais (Schöngart, 2008; López e Villalba, 2015; Schöngart et al., 2017; Andrade et al., 2019). O estudo realizado por Schöngart (2007), por exemplo, resultou na implementação de uma nova Instrução Normativa nº 009/2010, pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas, que define novas normas de manejo em florestas de várzea na Amazônia. Visando aumentar a sustentabilidade dos sistemas de exploração seletiva da madeira em espécies tropicais, é muito importante realizar estimativas para cada espécie, definindo seus respectivos diâmetros mínimos (DMC) e ciclos de corte (CC) (Schöngart, 2008; Rosa et al., 2017). Além disso, o sistema vigente, que adota os mesmos DMC e CC para todas as espécies, pode resultar em degradação a longo prazo dos recursos madeireiros (Schöngart, 2008), pois geralmente as colheitas ocorrem antes das árvores alcançarem sua produtividade máxima (López et al., 2015) ou

ainda impedir a exploração de espécies madeireiras que possuem grande potencial produtivo, como foi o caso de *Tachigali vulgaris* no presente estudo.

## 5. CONCLUSÃO

Comprovamos a anuidade dos anéis de crescimento de indivíduos de *Hymenaea courbaril* e *Tachigali vulgaris* que ocorrem na transição Amazônia-Cerrado. Verificamos que *H. courbaril* não apresentou ciclo de corte com valor mínimo previsto pela legislação, enquanto que nenhum dos resultados obtidos para *T. vulgaris* estavam dentro dos parâmetros de diâmetro mínimo e ciclo de corte estabelecidos pelo IBAMA. Nossos resultados indicam que a legislação vigente é inadequada para garantir a exploração madeireira ótima e sustentável das espécies avaliadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, J.C.S., Marimon, B.S., 2008. Caracterização e diagnóstico ambiental do Parque Municipal do Bacaba (Nova Xavantina, MT). Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura (JE Santos & C. Galbiati, orgs.). Rima, São Carlos 1, 23-56.
- Andrade, V.H.F., do Amaral Machado, S., Figueiredo Filho, A., Botosso, P.C., Miranda, B.P., Schöngart, J., 2019. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 438, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.030>.
- Barcellos, D.C., Couto, L.C., Muller, M.D., Couto, L., 2005. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. *Biomassa & energia* 2, 141-158.
- Brasil., 2006. Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 143, 155-159.

- Braz, E.M., Mattos, P.D., Oliveira, M.F., Basso, R.O., 2014. Strategies for achieving sustainable logging rate in the Brazilian Amazon Forest. *Open Journal of Forestry* 4, 100-105. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2014.42015>.
- Braz, E.M., Schneider, P.R., de Mattos, P.P., Thaines, F., Selle, G.L., de Oliveira, M.F., Oliveira, L.C., 2012. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de Florestas Tropicais. *Ciência Florestal*, 22, 791-798. <http://dx.doi.org/10.5902/198050987559>.
- Brienen, R.J.W., Schöngart, J., Zuidema, P.A., 2016. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. In *Tropical tree physiology*, 6, 439-461.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A., 2006a. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226, 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.038>.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A., 2006b. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology* 94, 481-493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01080>.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A., Martínez-Ramos, M., 2010. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: Strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia* 163, 485-496. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1540-5>.
- Carvalho P.E.R., 2003. *Espécies Arbóreas Brasileiras*. v. 1. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, Colombo –PR.
- Carvalho, P.E.R., 2007. Jatobá-do-cerrado - *Hymenaea stigonocarpa*. Embrapa Florestas-Circular Técnica, 133.
- CIPEM, 2018. Problema na Sefaz-MT trava R\$ 28 milhões em vendas de madeira em Mato Grosso, disponível em: <https://www.cipem.org.br/problema-na-sefaz-mt-trava-r-28-milhoes-em-vendas-de-madeira-em-mato-grosso>. Acesso em: 22 de fev. 2019.
- D'Arrigo, R.D., Jacoby, G.C., Krusic, P.J., 1994. Progress in dendroclimatic studies in Indonesia. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 5, 349-363. <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=10170839-199409-5-3-349-363-a>
- Dauber, E., Fredericksen, T.S., Pena, M., 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecol. Manage* 214, 294-304.
- Dias, L.E., Brienza Júnior, S., Pereira, C.A., 1993. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arborea nativa da Amazonia com potencial para recuperacao

- de áreas degradadas. Simposio sobre manejo e reabilitacao de áreas degradadas e florestas secundarias na Amazonia, 148-153.
- Duarte, M.M., Paula, S.R.P.D., Ferreira, F.R.D.L., Nogueira, A.C., 2016. Morphological characterization of fruit, seed and seedling and germination of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae)('Jatobá'). Journal of Seed Science, 38, 204-211. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v38n3159734>.
- Ehrlich, P., Wilson, E., 1991. Biodiversity studies: science and policy. Science 253, 758–762. <https://doi.org/10.1126/science.253.5021.758>.
- Engel, V.L., Fonseca, R.C.B., Oliveira, R.D., 1998. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. Série técnica IPEF, 12, 43-64.
- Farias, J., Marimon, B.S., Silva, L.C.R., Petter, F.A., Andrade, F.R., Morandi, P.S., Marimon-Junior, B.H., 2016. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. Forest Ecology and Management, 368, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- Felfili, J.M., Rezende, A.V., Silva-Júnior, M.C., Silva, M.A., 2000. Changes in the floristic composition of Cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. Journal of Tropical Ecology 16, 579-590. <https://doi.org/10.1017/S0266467400001589>.
- Franczak, D.D., Marimon, B.S., Hur Marimon-Junior, B., Mews, H.A., Maracahipes, L., Oliveira, E.A.D., 2011. Changes in the structure of a savanna forest over a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. Rodriguésia 62, 425-436. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201162215>.
- Free, C.M., Matthew Landis, R., Grogan, J., Schulze, M.D., Lentini, M., Dünisch, O., 2014. Management implications of long-term tree growth and mortality rates: a modeling study of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in the Brazilian Amazon. For. Ecol. Manage. 330, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.057>.
- Gentry, A. H., 1988. Tree species richness of upper Amazonian forests. Proceedings of the National Academy of Sciences 85, 156-159. <https://doi.org/10.1073/pnas.85.1.156>.
- Gourlay, I. D., Barnes, R. D., 1994. Seasonal growth zones in the wood of *Acacia karroo* Hayne: their definition and implications. The Commonwealth Forestry Review, 121-127. <https://www.jstor.org/stable/42608572>.

- Grogan, J., Schulze, M., 2012. The impact of annual and seasonal rainfall patterns on growth and phenology of emergent tree species in southeastern Amazonia, Brazil. *Biotropica* 44, 331-340. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00825.x>.
- Killeen, T. J., García, E., Beck, S. G., 1993. Guía de árboles de Bolivia (No. C/581.984 G8). Herbario Nacional de Bolivia; Missouri Botanical Garden.
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G., 1996. *Physiology of woody plants*. Elsevier.
- Krottenthaler, S., Pitsch, P., Helle, G., Locosselli, G.M., Ceccantini, G., Svoboda, M., Dolezal, J., Schleser, G., Anhof D., 2015. A power-driven increment borer for sampling high-density tropical wood. *Dendrochronologia* 36, 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.005>.
- Leite, P.T.P., Tomazello, M.F., Morellato, L.P.C., 2016. Management of cerrado trees using growth rings. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 10, 92–103.
- Lewis, G.P., 1987. Legumes of Bahia. Illustrated by Sue Wickson. *Roy. Bot. Gard. Kew.*, 369.
- Lima, R.M.B.de., 2004. Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de Doutorado em Ciências Florestais.
- Locosselli, G.M., Buckeridge, M.S., Moreira, M.Z., Ceccantini, G., 2013. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. *Trees* 27, 25-36. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0764-x>.
- Locosselli, G.M., Krottenthaler, S., Pitsch, P., Anhof, D., Ceccantini, G., 2017. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp.-Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. *Erdkunde*, 45-57. <https://www.jstor.org/stable/44280265>.
- Locosselli, G.M., Schöngart, J., Ceccantini, G., 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril*. *Trees* 30, 1127-1136. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1351-8>.
- López, L., Villalba, R., 2015. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los bosques nativos tropicales de Bolivia a través de métodos dendrocronológicos. *Ecosistemas* 24, 24–29.
- Lorenzi, H., 2008. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 384 pp.
- Mattos, P.P., Braz, E.M., Hess, A.F., de Salis S.M., 2011. A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais. Colombo –PR.

- Marimon, B.S., Felfili, J.M., Fagg, C.W., Marimon-Junior, B.H., Umestsu, R.K., Oliveira-Santos, C., Morandi, P.S., Lima, H.S., Nascimento, A.R.T., 2012. Monodominance in a forest of *Brosimum rubescens* Taub. (Moraceae): structure and dynamics of natural regeneration. *Acta oecologica* 43, 134-139. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.07.001>.
- Marimon, B.S., Felfili, J.M., Lima, E.S., Duarte, W.M.G., Marimon-Junior, B.H., 2010. Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazonia boundaries in Brazil. *Acta Amazonica* 40, 107–118. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100014>
- Marimon, B.S., Lima, E.S., Duarte, T.G., Chieregatto, L.C., Ratter, J.A., 2006. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian Forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany* 63, 323–341. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000576>.
- Marimon, B.S., Marimon-Junior, B.H., Feldpausch, T.R., Oliveira-Santos, C., Mews, H.A., Lopez-Gonzalez, G., Lloyd, J., Franczak, D.D, Oliveira, E.A., Maracahipes, L., Miguel, A., Lenza, E., Phillips, O.L., 2014. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia. *Plant Ecology & Diversity* 7, 281-292. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.818072>.
- Marimon-Junior, B.H., Haridasan, M., 2005. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot. Brasilica* 19, 913-926. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400026>.
- Martorano, L.G., Tourne, D., Lisboa, L., de Sousa, V.G., dos Santos, L.S., Brienza Junior, S., 2018. Zoneamento topoclimático do taxi-branco (*Tachigali vulgaris* LF) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos.
- Mews, H.A., Marimon, B.S., Ratter, J.A., 2012. Observations on the vegetation of Mato Grosso, Brazil. V. changes in the woody species diversity of a forest in the Cerrado–Amazonian forest transition zone and notes on the forests of the region. *Edinburgh Journal of Botany* 69, 239-253. <https://doi.org/10.1017/S0960428612000145>.
- Miguel, A., Marimon, B.S., de Oliveira, E.A., Maracahipes, L., Marimon-Junior, B.H., 2011. Dinâmica da comunidade lenhosa de uma floresta de galeria na transição Cerrado-Floresta Amazônica no Leste de Mato Grosso, em um período de sete anos

- (1999 a 2006). *Biota Neotropica*, 11, 1-9.  
<http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1/pt/abstract?article+bn01111012011>.
- Minami, P., Ribeiro, E.S., Martins, V.G., Moreira, E.L., 2017. Florística e Fitossociologia em Mata de Galeria e Cerradão no município de Nova Mutum–MT, Brasil. *Biodiversidade*, 16.
- Morandi, P.S., Marimon-Junior, B.H., de Oliveira, E.A., Reis, S.M., Valadão, M.X., Forsthofer, M., Passos, F.B., Marimon, B.S., 2016. Vegetation succession in the Cerrado–Amazonian forest transition zone of Mato Grosso state, Brazil. *Edinburgh Journal of Botany* 73, 83-93. <https://doi.org/10.1017/S096042861500027X>.
- Ratter, J., Richards, P.W., Argent, G., Gifford, D.R., 1973. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso: I - The woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo expedition area. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 266, 449-489. <https://doi.org/10.1098/rstb.1973.0053>.
- Reis, S.M., de Oliveira, E.A., Elias, F., Gomes, L., Morandi, P.S., Marimon, B.S., Marimon-Junior, B.H., das Neves, E.C., de Oliveira, B., Lenza, E., 2017. Resistance to fire and the resilience of the woody vegetation of the “Cerradão” in the “Cerrado”–Amazon transition zone. *Brazilian Journal of Botany*, 40, 193-201. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0336-1>.
- Rosa, S.A., Barbosa, A.C.M.C., Junk, W.J., da Cunha, C.N., Piedade, M.T.F., Scabin, A.B., Ceccantini, G.C.T., Schöngart, J., 2017. Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. *Trees - Struct. Funct.* 31, 729–742. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1503-5>.
- Salomão, R.P., Brienza Júnior, S., Rosa, N.A., 2014. Reforestation dynamics in areas of restoration after mining in unit of forest conservation in the Amazon. *Revista Árvore*, 38, 1-24. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000100001>.
- Sausen, G.K., Estevão, C.I.M., Furquim, M.C., Araújo, S., de Oliveira, J.E.F., 2017. Densidade básica da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril*), pelo método de aferição do volume em imersão em água. *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar* 1.
- Schöngart, J., 2008. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *For. Ecol. Manage.* 256, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.037>.

- Schöngart, J., Bräuning, A., Carolina, A., Campos, M., Lisi, C.S., Oliveira, J.M., 2017. Dendroecological studies in the neotropics: history, status and future challenges. In: Amoroso, M.M., Daniels, L.D., Baker, P.J., Camarero, J.J. (Eds.), *Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies*. Springer, 35–73. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8>.
- Schöngart, J., Gribel, R., Fonseca, S.F.da-J., Haugaasen, T., 2015. Age and growth patterns of Bazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biotropica* 47, 550–558. <https://doi.org/10.1111/btp.12243>.
- Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M., Piedade, M.T.F., Krambeck, H.-J., Junk, W.J., 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian whitewater floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Ann. For. Sci.* 64, 657–664. <https://doi.org/10.1051/forest:2007044>.
- Schulze, M., Grogan, J., Landis, R.M., Vidal, E., 2008. How rare is too rare to harvest?: Management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage.* 256, 1443–1457. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.051>.
- Siqueira, J.O., Curi, N., Vale, F.R., Ferreira, M.M., Moreira, F.M.S., 1995. Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. Cemig, Belo Horizonte, Brasil.
- Solórzano, A., Pinto, J.R.R., Felfili, J.M., Hay, J.D.V., 2012. Perfil florístico e estrutural do componente lenhoso em seis áreas de cerrado ao longo do bioma Cerrado. *Acta Botanica Brasilica*, 26, 328-341. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000200009>.
- Sousa, V.G., Brienza Junior, S., Barbosa, M., Martorano, L., Silva, V., 2016. Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* LF Gomes da Silva & HC Lima): botânica, ecologia e silvicultura. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos, 1983-0513. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1062064>.
- Stahle, D.W., Cleaveland, M.K., Maingi, J., Munyao, J., 1995. The dendroclimatology of *Vitex keniensis* in Kenya. Supplement to *Eos*, 76, F316.
- Tonini, H., Arco-Verde, M.F., Sá, S.P.P.D., 2005. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Acta Amazônica*, 35, 353-362. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000300008>.



- Vetter, R., Botosso, P., 1989. Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. *Iawa Journal* 10, 133-145. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000481>.
- Worbes, M., 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia* 20, 217–231. <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>.
- Yared, J.A.G., 1990. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia. *Silvicultura*, 12, 119-122.
- Zuidema, P.A., Brienens, R.J.W., Schöngart, J., 2012. Tropical forest warming: looking backwards for more insights. *Trends Ecol. Evol.* 27, 193–194. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.12.007>.

## CAPÍTULO 2 – TEMPERATURAS ELEVADAS AFETAM O CRESCIMENTO DE *Hymenaea courbaril* L. (FABACEAE) DA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

A ser submetido para publicação no periódico: Trees: structure and function

### RESUMO

Nos últimos anos foi registrado um aumento na intensidade das secas na transição Amazônia-Cerrado, onde as temperaturas regionais aumentaram duas vezes mais do que a média global ao longo dos últimos 100 anos. Nosso objetivo foi analisar o efeito de eventos extremos de seca e temperaturas do ar elevadas sobre o crescimento de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L. – Fabaceae) na transição Amazônia-Cerrado. Para isso, coletamos amostras de 16 indivíduos de *H. courbaril* utilizando trado de incremento. Construímos uma cronologia de anéis de crescimento utilizando procedimentos padrões de dendrocronologia, para o período entre 1940 e 2017. Esta cronologia possui um valor médio de intercorrelação igual a 0,44, sensibilidade igual a 0,38 e valores de EPS (*Expressed Population Signal Values*) acima de 0,85 a partir de 1950. Observamos valores de correlação positivos entre o crescimento de *H. courbaril* e a temperatura e a precipitação entre 1958 e 1977. Por outro lado, os valores de correlação foram positivos com a precipitação e negativos com a temperatura nos últimos 20 anos, para os quais registramos valores menores das taxas de crescimento em anos de baixa precipitação combinados com elevada temperatura máxima. *Hymenaea courbaril* alterou suas respostas de crescimento em que, nos últimos 20 anos, o acúmulo de incremento radial tem sido controlado, principalmente, pela temperatura máxima, bem como vem sofrendo maior influência positiva da precipitação a partir de novembro, segundo mês do período chuvoso.

**Palavras-chave:** dendrocronologia tropical, dendroecologia, jatobá-da-mata, clima, anéis de crescimento.

### ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in drought intensity in the Amazon-Cerrado transition, where regional temperatures have increased twice as much as the global average

over the past 100 years. Our objective was to analyze the effect of extreme drought events and high air temperatures on the growth of jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L. - Fabaceae) in the Amazonia-Cerrado transition. For this, we collected 16 individuals of *H. courbaril* using an increment borer and constructed a chronology of growth rings using standard dendrochronology procedures between 1940 and 2017. The chronology has an average intercorrelation value of 0.44, sensitivity of 0.38 and values of EPS (Expressed Population Signal Values) above 0.85 from 1950. Our results show positive correlation values between growth of *H. courbaril* and temperature and precipitation between 1958 and 1977. On the other hand, correlation values were positive with precipitation and negative with temperature in the last 20 years, for which we recorded lower values of growth rates in years of low precipitation combined with high maximum temperature. *Hymenaea courbaril* altered its growth responses in the last 20 years, the radial increment accumulation has been mainly controlled by the maximum temperature, as well as greater positive influence of precipitation from November, the second month of the rainy season.

**Keywords:** tropical dendrochronology, dendroecology, jatobá-da-mata, climate, tree rings.

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais representam cerca de 1/3 do estoque de biomassa global e possuem um papel central no ciclo de carbono terrestre (Le Quéré et al. 2016). Apesar de sua importância, nas últimas décadas tem-se registrado grande perda de área em consequência de atividades antrópicas, como expansão agrícola, extração madeireira e crescimento urbano (Houghton 1994; Lewis 2015). Essas mudanças no uso da terra e as alterações na quantidade de carbono global acabaram por desencadear o aumento na frequência de eventos climáticos extremos (Kelley et al. 2015). Na América do Sul, as modificações nos regimes de precipitação e na temperatura do ar tem resultado em verões extremamente quentes, secas intensas e também chuvas concentradas (Aguilar et al. 2005; do Vale et al. 2011; Lewis et al. 2011; Marengo et al. 2011; Hansen et al. 2012; Barichivich et al. 2018). O clima é um dos principais fatores que controlam a dinâmica das florestas e o desenvolvimento das árvores (Woodward e Woodward 1987) e sabe-se que as espécies de plantas tropicais possuem tolerâncias climáticas diferentes, porém ainda não

está claro como elas estão respondendo às mudanças climáticas recentes (Bonan 2008; Corlett 2016; Esquivel-Muelbert et al. 2019).

Nas últimas décadas têm-se observado na Amazônia uma tendência de períodos chuvosos mais úmidos e/ou períodos secos mais extremos, associados a elevadas temperaturas durante o ano (Marengo et al. 2008, 2011; Espinoza et al. 2011; Lewis et al. 2011; Almeida et al. 2017; Rifai et al. 2018). Nas porções leste e sudeste da transição Amazônia-Cerrado também foram registrados períodos mais frequentes de seca e elevadas temperaturas (Jiménez-Muñoz et al. 2013; Silva et al. 2016; Alves et al. 2017). As previsões climáticas ainda apontam que o período seco do ano provavelmente irá se prolongar e que os níveis de precipitação provavelmente diminuirão, especialmente na borda sul da Amazônia, região que coincide com a transição Amazônia-Cerrado (Boisier et al. 2015).

Essas mudanças no clima poderão ter efeitos mais graves na transição Amazônia-Cerrado devido aos impactos provocados pela mudança no uso do solo nesta região também conhecida como "arco do desmatamento" (Alves et al. 2017). Esta é uma das regiões do Brasil que mais sofre mudanças na paisagem causadas pelos avanços da fronteira agrícola (Marimon et al. 2014; Marques et al. 2019), além do desmatamento para exploração madeireira (CIPEM 2012). Como resultado, a região central do Brasil tem registrado temperaturas acima da média global (Coe et al. 2016; Hoegh-Guldberg et al. 2018), com o potencial de afetar atividades fisiológicas de espécies arbóreas (Olivares et al. 2015), e redução da precipitação, que pode influenciar na diminuição das taxas respiratórias, devido o baixo estoque de água no solo (Rocha 2016). Assim, altas temperaturas associadas a eventos extremos de seca acabam por desencadear a redução do acúmulo de biomassa, em resposta ao clima (Grandis et al. 2010; Brienen et al. 2015), e podem ter tido um efeito exacerbado na zona de transição Amazônia-Cerrado nos últimos anos.

Nas regiões com períodos secos bem definidos, a sazonalidade no volume de precipitação é uma das principais variáveis que controlam a atividade sazonal do câmbio, e consequentemente a formação dos anéis de crescimento nas árvores (Détienne 1989; Borchert 1999; Schweingruber 1996, 2012). Porém, a taxa de atividade cambial, que resulta em anéis de crescimento mais largos ou mais estreitos, pode depender não somente da precipitação, mas também da temperatura, visto que, em anos de baixa precipitação e temperatura elevada os anéis são mais estreitos (Locosselli et al. 2017). Como o clima é um dos principais fatores que modulam o crescimento das árvores (Hughes 2002), é

possível que os efeitos das mudanças no clima regional fiquem registrados nos anéis de crescimento das árvores que compõe a transição Amazônia-Cerrado.

Assim, para avaliarmos o crescimento das árvores e as mudanças no clima a partir de anéis de crescimento é importante selecionarmos espécies arbóreas que formam troncos grandes nos quais esses anéis são evidentes, como *Hymenaea courbaril*, uma árvore de grande porte, de vida longa para os padrões tropicais (Locosselli et al. 2016) e amplamente difundida na região Neotropical (Gentry 1988; Lewis 1987; Killeen et al. 1993; Brown 1995). Ela forma anéis anuais de crescimento, apresenta grande heterogeneidade de taxas de crescimento em diferentes biomas (Locosselli et al. 2017) e o crescimento do tronco geralmente ocorre durante o período das chuvas (Luchi 1998).

Tendo em vista que os estudos de anéis de crescimento oferecem importantes resultados sobre os efeitos das mudanças climáticas globais no crescimento das árvores (Brienen et al. 2016), este estudo teve como objetivo reconstruir a variabilidade temporal do efeito da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar sobre o crescimento de uma população de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L. – Fabaceae) na transição Amazônia-Cerrado. Nossas perguntas foram: os indivíduos de uma população de *H. courbaril* da transição Amazônia-Cerrado apresentam padrões de crescimento em comum ao longo de sua vida impulsionados por eventos climáticos? Como *H. courbaril* respondeu ao aumento da variabilidade climática e intensificação de eventos climáticos extremos na região?

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área e espécie de estudo

A área do estudo se localiza na região leste do estado de Mato Grosso, na transição entre os biomas Amazônia e Cerrado. A vegetação da região é classificada como um grande mosaico de formações savânicas e florestais (Ratter et al. 1973; Marimon et al. 2006, 2014), sendo que as florestas estacionais semidecíduais são parte do *continuum* da transição entre o Cerrado e as florestas perenifólias da Amazônia (Marimon et al. 2006; Ivanauskas et al. 2008). O clima da região é do tipo *Aw*, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação de 1.400 mm e temperatura média anual de 25 °C (Marimon et al. 2010, 2012) (Figura 1). Apresenta dois períodos bem definidos, um de seca, entre abril e setembro e um de chuva, entre outubro e março (Marimon et al. 2010, 2012; Alvares et

al. 2013) (Figura 1). Para os últimos 20 anos verificamos, para a região de estudo, uma tendência de aumento de cerca de 2 °C na temperatura e uma tendência de redução da precipitação (Figura 2).

Realizamos as coletas em um fragmento de reserva legal com mais de 5 mil hectares de Floresta Estacional Semidecidual na Fazenda Vera Cruz (14°50'47''S e 52°08'37''W) em Nova Xavantina (Marimon et al. 2014) (Figura 3). A floresta apresenta dossel em torno de 30 m de altura, sub-bosque bem definido e elevado número de espécies amazônicas (Marimon et al. 2014). O solo é do tipo Plintossolo conforme classificação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa 1999).

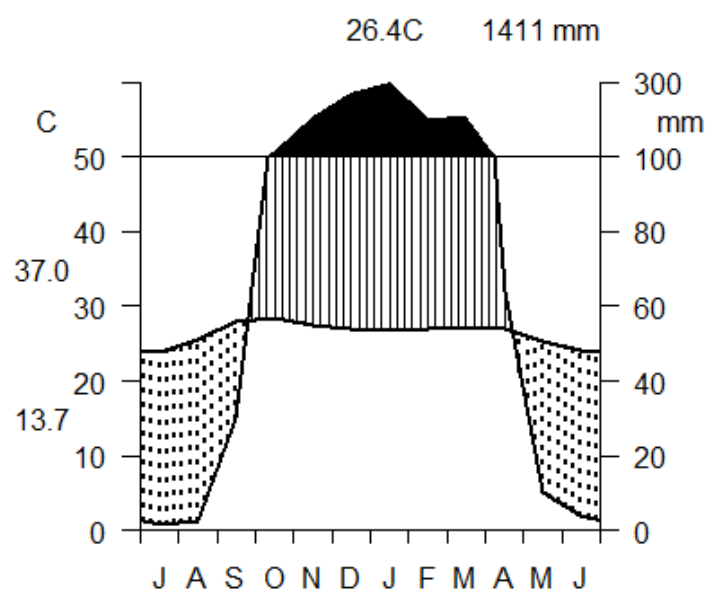


Figura 1. Diagrama climático de Walter mostrando curvas de temperatura e precipitação dos dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da região de Nova Xavantina, entre 1998 e 2017. As temperaturas máximas e mínimas médias também são apresentadas no eixo de temperatura (esquerda). Clima tropical típico, com período seco de maio a setembro.

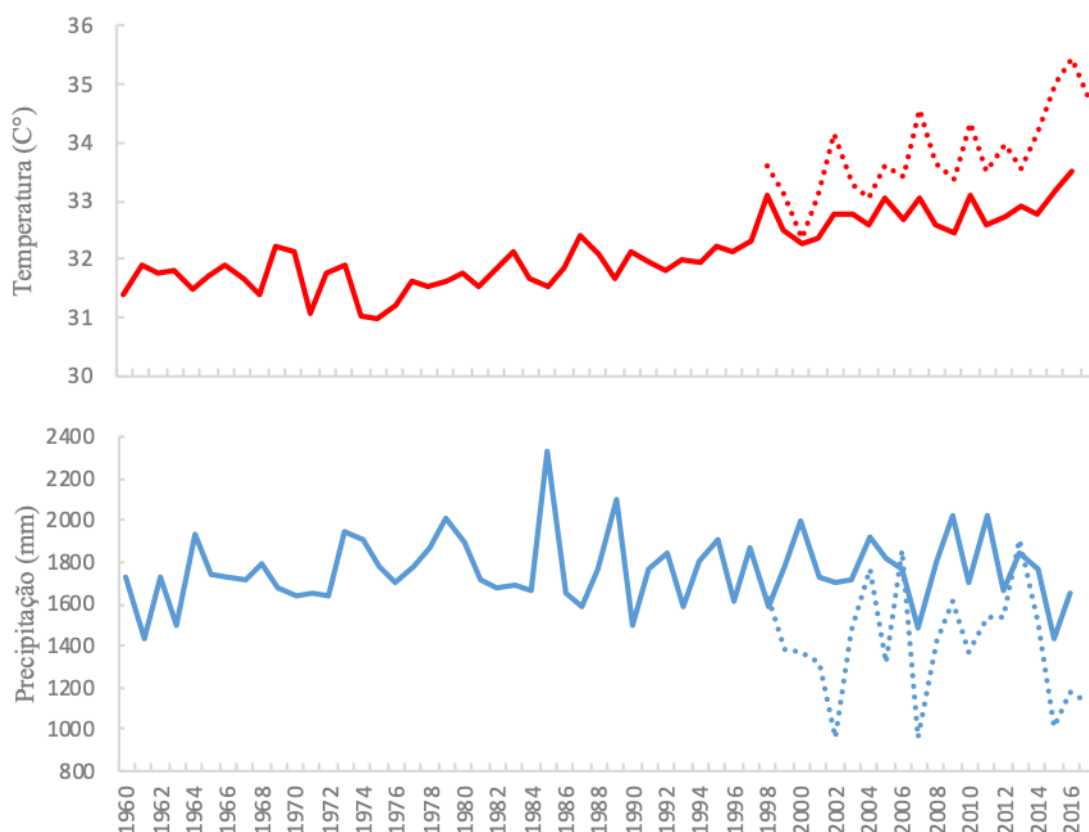


Figura 2. Médias anuais da temperatura máxima e precipitação total anual provenientes do *Climate Research Unit* (linhas contínuas) entre 1960 e 2017 e dos dados do INMET (linhas pontilhadas) da estação meteorológica de Nova Xavantina, entre 1998 e 2017.

A espécie selecionada, *Hymenaea courbaril*, é breve-decídua que pode alcançar 35 m de altura e entre 40 e 80 cm de diâmetro à altura do peito (Carvalho 2003), sendo considerada emergente, de tronco cilíndrico, casca lisa, com densidade da madeira de  $0,96 \text{ g.cm}^{-3}$  (Sausen et al. 2017). Essa espécie apresenta densidade populacional geralmente baixa (Grogan e Schulze 2012) e a idade pode ultrapassar os 300 anos (Locosselli et al. 2017). Além disso, ela é bem adaptada a solos ácidos e/ou de fertilidade química baixa, mas sempre ocorre em terrenos bem drenados (Siqueira et al. 1995).

Os anéis de crescimento de *H. courbaril* são distintos e marcados pelo parênquima marginal (Locosselli et al. 2013). A dinâmica de incremento do seu tronco e a formação dos anéis de crescimento acompanha a variabilidade climática sazonal (Luchi 1998). No início do período de seca esta espécie perde parte de suas folhas e novas folhas se formam ao final deste mesmo período, assim, com folhas novas no início do período chuvoso, ela desencadeia sua atividade cambial dando início ao período ativo de acúmulo de incremento radial (Lisi et al. 2008). Em geral, floresce nos meses de outubro a dezembro e frutifica entre dezembro e agosto (Carvalho 2007).

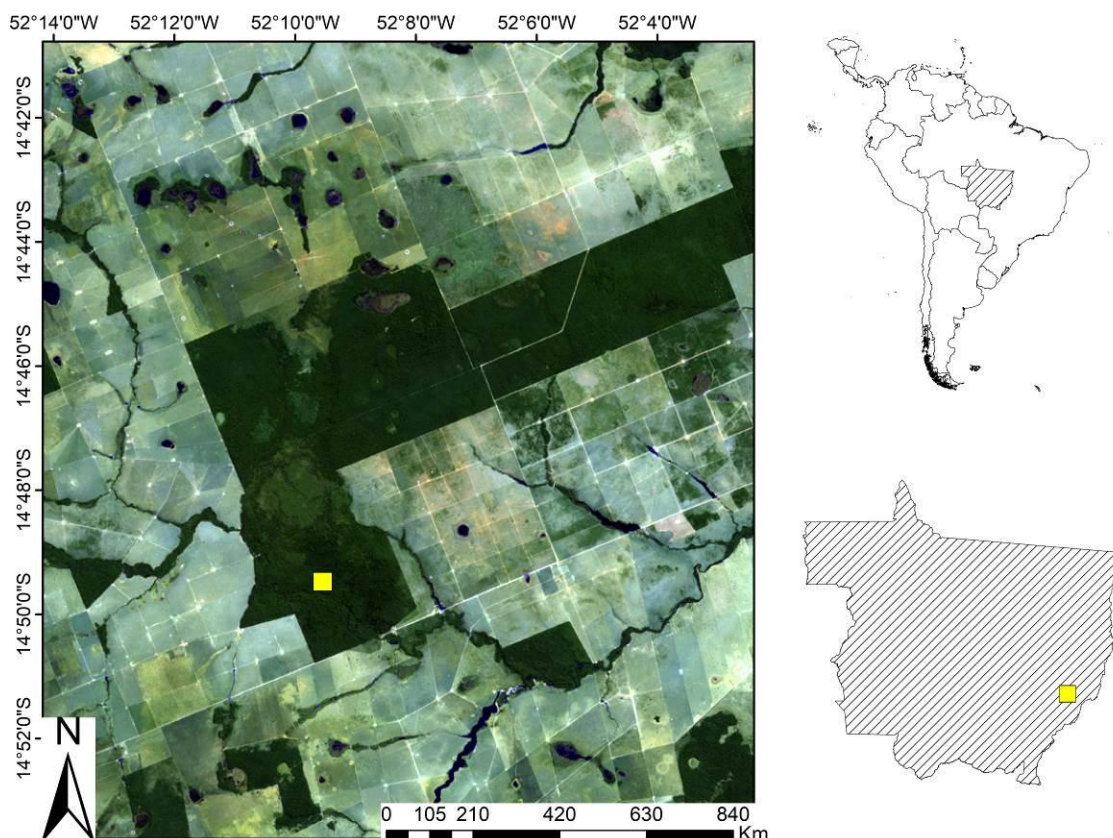


Figura 3. Localização da área de estudo a partir da imagem do satélite Landsat 7: América do Sul e Brasil; Estado de Mato Grosso e área de estudo (amarelo); parte do município de Nova Xavantina-MT indicando o local onde foram realizadas as coletas (amarelo).

## 2.2. Coleta de dados

Para as análises de incremento radial, coletamos amostras de tronco em 39 indivíduos vivos e adultos de *H. courbaril*, entre março e julho de 2017, todos na Floresta Estacional Semidecidual da Fazenda Vera Cruz, que se encontra em ótimo estado de preservação (Marimon et al. 2014). Para a coleta de baquetas utilizamos um trado de incremento de 1,5 cm de diâmetro e 1 m de comprimento acoplado a uma furadeira motorizada. Coletamos quatro raios perpendiculares de cada árvore, desde a superfície até o ponto central do tronco a uma altura de aproximadamente 1 m em relação ao solo (Krottenthaler et al. 2015). Após a coleta das amostras de tronco fechamos os orifícios com cortiça natural (Locosselli et al. 2016).



### 2.3. Preparação das amostras e análise dos anéis

Fixamos as baquetas em suportes de madeira com o uso de barbantes e após a secagem, polimos as amostras com lixas de diferentes granulometrias (60, 120, 220, 300, 400, 600, 1200 e 2000). Após o polimento, escaneamos as amostras com o Scanner EPSON Expression 12000XL e posteriormente utilizamos o *software* WinDendro para marcar, contar e medir a largura dos anéis. Fizemos uma datação cruzada primeiramente entre os raios do mesmo indivíduo e depois entre os raios de indivíduos diferentes, e utilizamos anéis marcadores (anos de crescimento reduzido resultante de uma condição restritiva comum aos indivíduos da população) para encontrar os padrões de crescimento populacional. Para avaliar a qualidade da datação, utilizamos o *software* COFECHA (Holmes 1983) e realizamos as análises utilizando segmentos de 30 anos e o espaço das análises a cada 15 anos.

Construímos a cronologia de largura de anéis de crescimento a partir do *software* ARSTAN (Cook e Holmes 1996). As tendências de crescimento relacionadas a ontogenia e as estratégias de competição dentro da floresta foram removidas por meio da padronização das séries através do ajuste das mensurações originais dos anéis de crescimento com uma função exponencial *spline* com intervalo de 20 anos (Cook e Kairiukstis 1989). Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto de Biociências – USP (Universidade de São Paulo, *Campus* Capital) e no Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade do Estado de Mato Grosso, *Campus* de Nova Xavantina.

### 2.4. Análise de dados

Para avaliar os efeitos da variabilidade climática da região sobre o crescimento da espécie, obtivemos dados de temperatura e precipitação mensais a partir de uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET - [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) localizada em Nova Xavantina (14°69'79"S e 52°35'02"W), distante cerca de 20 km do local de coleta, com dados de 1998 até 2017. Para avaliarmos o efeito do clima durante um período mais longo, utilizamos os dados climáticos interpolados disponibilizados pelo *Climate Explorer* (Trouet e Van Oldenborgh 2013).

Elaboramos uma série de correlações de Pearson entre os dados mensais de precipitação e temperatura e a cronologia padrão, utilizando o *software* Excel. Primeiramente utilizamos toda a cronologia e posteriormente dividimos a cronologia em períodos de 20 anos, para avaliarmos as diferentes correlações no decorrer do tempo. Com auxílio do *software* JMP v. 14 (Jones e Sall 2011) também calculamos os níveis de

correlação entre a cronologia padrão e as diferentes variáveis climáticas. Com auxílio do *software* ARSTAN calculamos o sinal expresso da população (*Expressed Population Signal Values* - EPS), de acordo com Wigley et al. (1984).

### 3. RESULTADOS

Dentre os 39 indivíduos de *Hymenaea courbaril*, para os quais coletamos amostras de tronco (baquetas), apenas 16 puderam ser datados de modo eficiente (Tabela 1). Os demais indivíduos não puderam ser datados em virtude da ocorrência de anéis falsos ou por serem muito velhos e apresentarem os anéis dos últimos anos de vida muito estreitos, o que dificultou uma datação cruzada. A partir da identificação e medição da largura dos anéis construímos uma cronologia com comprimento máximo de 78 anos (1940 até 2017) (Figuras 4A e B; Tabela 2). O valor do EPS calculado foi maior que 0,85 a partir de 1950, o que significa que o sinal comum de crescimento da população foi bem representado (Wigley et al. 1984) pelo número de amostras a partir deste ano na série (Figura 4C).

Por meio da análise de clima/crescimento, utilizando a cronologia padrão, verificamos que o crescimento de *H. courbaril* foi influenciado pela temperatura máxima e pela precipitação da região de forma diferente no decorrer do tempo. Para o período de 1958 a 1977 a temperatura máxima influenciou positivamente o crescimento, no mês de dezembro. Nesse mesmo período, a precipitação também teve influência positiva, porém durante o período de estação de crescimento, com correlação positiva no mês de outubro, primeiro mês do período chuvoso (Figuras 5 e 6). No período de 1978 e 1997 não encontramos nenhuma correlação significativa durante a estação de crescimento, entre a cronologia de *H. courbaril* e os dados climáticos de temperatura. Porém, observamos correlação negativa com a precipitação no mês de outubro (Figuras 5 e 6). Para os últimos 20 anos (1998-2017), encontramos correlações mais fortes entre a cronologia e os dados climáticos. A temperatura máxima influenciou de forma negativa, com correlações significativas nos meses de novembro, dezembro e fevereiro, enquanto que a precipitação influenciou positivamente durante a estação de crescimento, com correlações significativas nos meses de novembro e dezembro (Figuras 5 e 6).

Tabela 1. Descrição dos indivíduos de *H. Courbaril* que foram selecionados para compor a datação cruzada. DAP= diâmetro à altura do peito (1,3 m a partir da superfície do solo).

<b>Indivíduo</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Idade (anos)</b>
1	19,6	70,0	105
3	21,7	60,5	82
4	22,0	55,4	91
7	22,2	66,5	134
16	19,4	64,6	87
17	17,6	44,9	66
18	23,7	76,4	82
20	21,9	79,2	118
22	22,7	52,2	102
23	22,1	52,8	92
24	24,8	76,4	119
26	22,6	33,4	93
34	15,2	45,5	113
37	23,7	61,4	90
38	27,8	69,1	124
39	28,1	66,9	126
<b>Média</b>	22,2	60,96	101,5

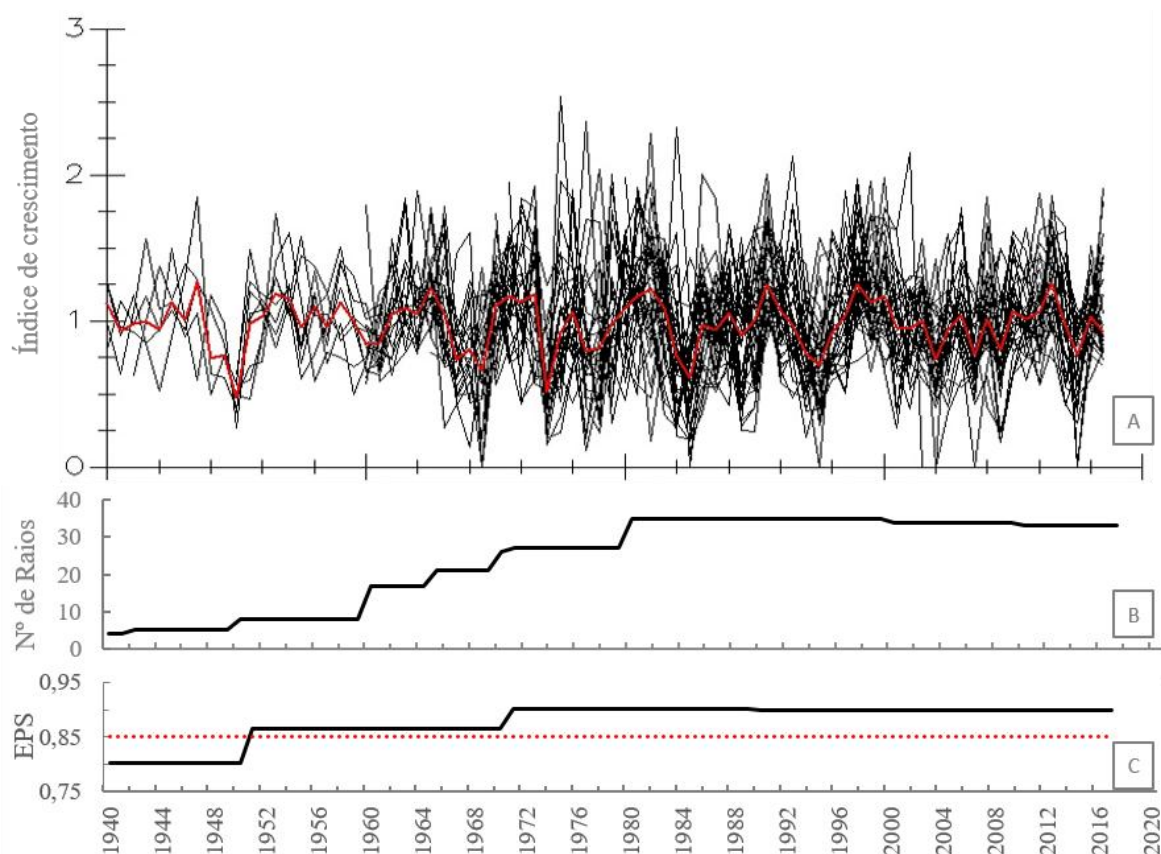


Figura 4. (A) Séries de crescimento individuais (linhas em preto) e cronologia padrão média (linha vermelha) de indivíduos de *H. courbaril* crescendo em uma floresta estacional semi-decidual na transição Amazônia-Cerrado. (B) Número de raios utilizados para a elaboração da série temporal. (C) Valores do sinal expresso da população (EPS) para espaçamentos de 10 anos com uma sobreposição de 5 anos (linha preta). A linha pontilhada vermelha no EPS indica o valor mínimo (0,85) para anos bem representados pelo número de amostras (Wigley et al. 1984).

Tabela 2. Estatística descritiva da cronologia padrão de *Hymenaea courbaril*. A intercorrelação e a sensibilidade foram calculadas utilizando o *software* COFECHA e os demais valores com o *software* ARSTAN. EPS= sinal expresso da população.

Parâmetros	Cronologia padrão
Número de indivíduos (raios)	16 (33)
Número total de anéis datados	1921
Intercorrelação	0,44
Sensitividade	0,38
Comprimento máximo (em anos)	78
EPS médio	0,87

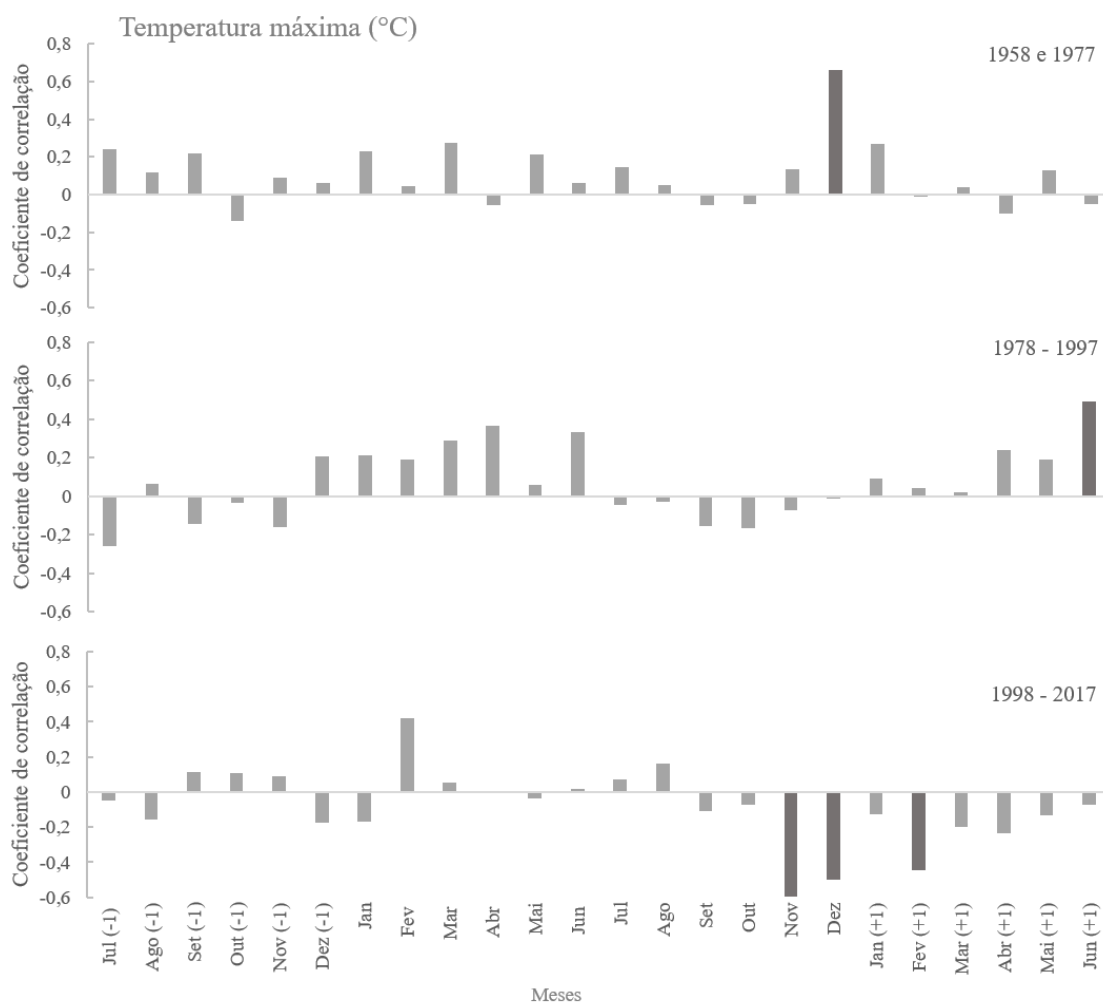


Figura 5. Cronologia padrão caracterizada pelo crescimento de *Hymenaea courbaril* correlacionada com os dados de temperatura máxima da região de Nova Xavantina nos últimos 60 anos (1958-2017) divididos em períodos de 20 anos. Os meses com -1 e +1 indicam as correlações entre a cronologia e a temperatura máxima do ano anterior e do ano subsequente, respectivamente. Correlação significativa para  $\alpha \geq 0,05$  (barras pretas), positiva entre 1958 e 1977 em dezembro, novembro-dezembro e dezembro-janeiro; positiva entre 1978 e 1997 em junho; e negativa entre 1998 e 2017 em novembro, dezembro, fevereiro e novembro-dezembro.

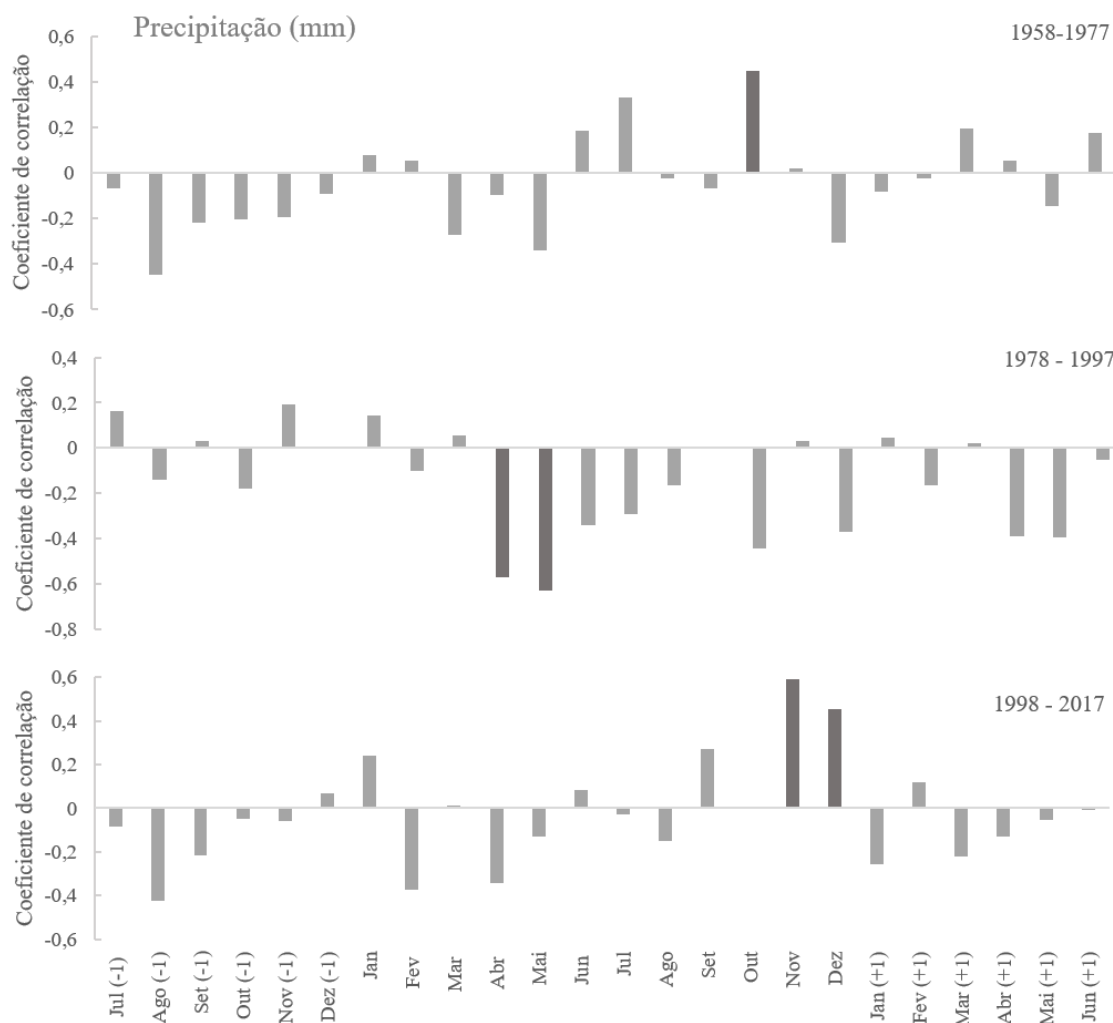


Figura 6. Cronologia padrão caracterizada pelo crescimento de *Hymenaea courbaril* correlacionada com os dados de precipitação mensal da região de Nova Xavantina nos últimos 60 anos (1958-2017) divididos em períodos de 20 anos. Os meses com -1 e +1 indicam as correlações entre a cronologia e a precipitação mensal do ano anterior e do ano subsequente, respectivamente. Correlação significativa para  $\alpha \geq 0,05$  (barras pretas), positiva entre 1958 e 1977 em outubro e novembro-dezembro; positiva entre 1978 e 1997 em novembro-dezembro e dezembro-janeiro; e positiva entre 1998 e 2017 em novembro, dezembro, novembro-dezembro e dezembro-janeiro.

As correlações que encontramos entre os diferentes períodos não estão restritas ao clima da região de estudo, mas se estendem por boa parte da Amazônia oriental e transição Amazônia e Cerrado. Assim, utilizando dados interpolados encontramos diferentes correlações espaciais, no decorrer do tempo, entre a cronologia de *Hymenaea courbaril* e a temperatura máxima dos meses de novembro, dezembro e janeiro na América do Sul. Para o primeiro período da nossa série cronológica (1958-1977), observamos que a temperatura máxima influenciou positivamente o crescimento do jatobá-da-mata (Figura 7A), porém entre 1978 e 1977 não verificamos correlações (Figura 7B). Para o período mais recente (1998-2017), registramos uma influência negativa da temperatura máxima, que abrange as

populações de *H. courbaril* que ocorrem principalmente na Amazônia, no Cerrado e na Caatinga (Figura 7C).

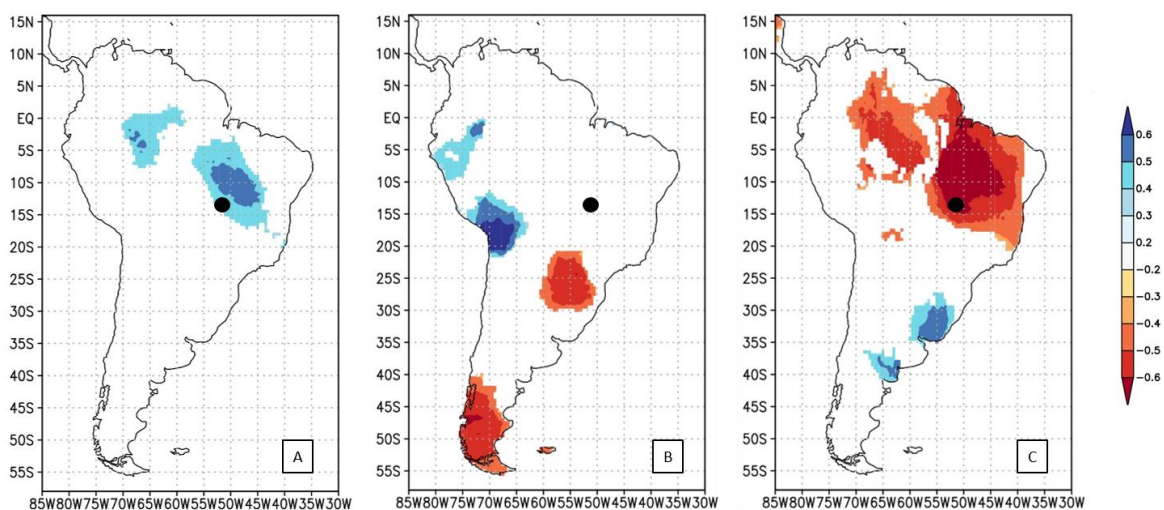


Figura 7. Correlações espaciais entre a cronologia de *Hymenaea courbaril* e a temperatura máxima da América do Sul no meses dezembro-janeiro entre 1958 e 1977 (A) e nos meses de novembro-dezembro 1978 e 1997 (B) e 1998 e 2017 (C). O círculo preto representa a área de estudo. Os valores na escala de cores correspondem aos coeficientes de correlação ( $P < 0,05$ ) em que observamos correlação positiva (vermelho) entre 1958 e 1977, nenhuma correlação entre 1978 e 1997 e correlação negativa (azul) entre 1998 e 2017.

Verificamos que *Hymenaea courbaril* também foi influenciada pela precipitação de maneira diferente no decorrer do tempo, visto que encontramos correlação positiva entre a precipitação da região no mês de outubro, primeiro mês do período chuvoso, e a cronologia de *H. courbaril* durante o período 1958 a 1977 (Figura 8A) e nenhuma correlação durante o período de 1978 a 1997 (Figura 8B). Contudo, observamos uma correlação positiva com a precipitação do mês de novembro, segundo mês após o início do período chuvoso, entre 1998 e 2017, a qual parece ser menos intensa, quando comparada à correlação negativa com a temperatura máxima neste mesmo período (Figura 8C).

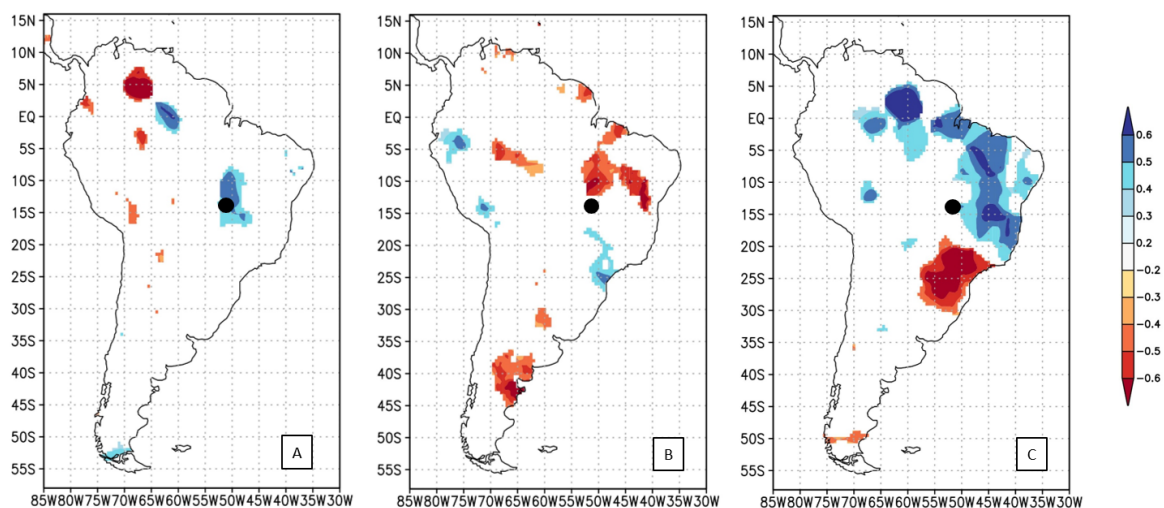


Figura 8. Correlações espaciais entre a cronologia de *Hymenaea courbaril* e a precipitação da América do Sul no mês de outubro entre 1958 e 1977 (A), 1978 e 1997 (B) e do mês de novembro entre 1998 e 2017 (C). O círculo preto representa a área de estudo. Os valores na escala de cores correspondem aos coeficientes de correlação ( $P < 0,05$ ) em que não observamos correlação positiva entre 1958 e 1977 e correlação positiva entre 1998 e 2017.

#### 4. DISCUSSÃO

Nosso estudo confirmou que os efeitos das mudanças climáticas regionais, expressas principalmente por aumentos na temperatura e redução da precipitação, sobre o crescimento de árvores de *Hymenaea courbaril* na transição Amazônia-Cerrado, podem ser detectadas por meio do estudo dos anéis de crescimento. Respondendo a nossa primeira pergunta confirmamos por meio do valor de EPS da cronologia, que as árvores avaliadas, respondem às variações climáticas através da formação de anéis de crescimento.

O crescimento de *H. courbaril* foi influenciado positivamente pela temperatura máxima do mês de novembro e pela precipitação do mês de outubro, no primeiro terço da cronologia (1958-1977). Entretanto, para o período mais recente, que representa os últimos vinte anos da cronologia (1998-2017), a espécie foi influenciada negativamente pela temperatura máxima e positivamente pela precipitação da região, ambas no mês de novembro. Essa mudança recente da influência da temperatura pode ser explicada pelo aumento de cerca de 2 °C da temperatura média regional nos últimos 20 anos (Coe et al. 2016; INMET 2018), o que representa um aumento aproximadamente 130% superior à média de aumento do globo terrestre, segundo o relatório do IPCC (Hoegh-Guldberg et al. 2018). Altas temperaturas têm o potencial de diminuir o crescimento radial das árvores tropicais (Vlam et al. 2014; Paredes-Villanueva et al. 2015) e nossos resultados podem



indicar que o aumento de temperatura registrado na região pode ter alterado o padrão de crescimento destas árvores.

Para o primeiro período da cronologia (1958-1977), o crescimento destas árvores não foi limitado pela temperatura. Contudo, para o período recente (1998-2017), o crescimento de *H. courbaril* passou a ser influenciado negativamente pela temperatura máxima. Nesse caso, o aumento da temperatura pode induzir a diminuição do potencial hídrico, resultando em maior evapotranspiração das árvores (Rolland 1993). Além disso, em temperaturas elevadas as taxas de fotorrespiração são maiores, em decorrência da diminuição da afinidade entre as moléculas RUBISCO e o CO<sub>2</sub> (Ogren 1984). Assim, o aumento das taxas respiratórias e o aumento da demanda evaporativa em resposta ao alto déficit de pressão de vapor da atmosfera em temperaturas mais elevadas (Rolland 1993; Lloyd e Farquhar 2008) podem ter contribuído para o aumento da sensibilidade desta espécie à variação da temperatura no período recente.

O período de crescimento de *H. courbaril* geralmente corresponde a todo o período chuvoso (Luchi 1998). No primeiro intervalo da cronologia (1958-1977), observamos influência positiva da precipitação no primeiro mês do período chuvoso, em outubro. Entretanto, para o intervalo mais recente (1998-2017), observamos influência positiva da precipitação a partir do mês de novembro, segundo mês após o início das chuvas. Marimon et al. (2019) verificaram que o solo na área de estudo apresenta baixa capacidade de retenção de água e baixos valores de umidade (v/v) ao longo de todo ano, o que pode explicar a correlação negativa do incremento dessa espécie inclusive no período chuvoso para o período recente. Considerando que esta espécie comumente ocorre em terrenos bem drenados (Siqueira et al. 1995), é possível que solos com a capacidade de retenção de água abaixo de 50% podem comprometer significativamente o seu crescimento (Nascimento et al. 2011).

A mudança no início do período de crescimento também pode ser uma consequência da sazonalidade de abastecimento do lençol freático. Que pode ainda não estar totalmente recarregado, fazendo com que a quantidade de água no solo ainda não tenha atingido seu ponto máximo no mês de novembro, a ponto de reduzir os efeitos ecofisiológicos negativos de temperaturas elevadas. Com isso, mesmo estando no período chuvoso e tendo outros recursos necessários para realização da fotossíntese, as árvores precisam manter os estômatos fechados (Machado et al. 2005; Marengo et al. 2015), resultando na redução da assimilação de CO<sub>2</sub> o que conseqüentemente, compromete a elaboração de fotoassimilados e diminui o incremento radial.

As projeções futuras de aumento de temperatura e redução na precipitação têm sido mais fortes na região central do Brasil nos últimos anos (Rocha 2016). O município de Nova Xavantina, onde o presente estudo foi realizado, se encontra nessa zona central e ainda está inserido no “Arco do desmatamento”, uma região fortemente impactada pela produção agropecuária (Marimon et al. 2014), onde foram registradas elevadas temperaturas (Coe et al. 2016). Nesse caso, a correlação negativa verificada entre a temperatura máxima e o crescimento de *Hymenaea courbaril* no período recente (1998-2017), durante a estação de crescimento, indica que as populações desta espécie, correm maiores riscos de terem seu crescimento impactado negativamente, podendo se agravar ainda mais com os aumentos de temperatura previstos (Marengo et al. 2018).

Projeções de mudanças no clima para a América do Sul indicam que a redução da precipitação também afetará o estoque de água no solo e, conseqüentemente, poderá reduzir a evapotranspiração (Rocha 2016). Concomitante, o aumento da temperatura poderá aumentar os riscos de falhas hidráulicas e reduzir a assimilação de carbono, resultando em crescimento limitado das árvores (Adams et al. 2015), tal como registrado para *Hymenaea courbaril*. Nesse caso, evidências fisiológicas mostram que secas mais quentes podem impactar mais rapidamente o desenvolvimento das árvores, apesar de quaisquer benefícios de maior disponibilidade de água e CO<sub>2</sub> na atmosfera (Duan et al. 2014, 2015; McDowell e Allen 2015). E ainda que os mecanismos de mortalidade - relacionados ao metabolismo de carbono, hidráulica ou pragas e patógenos - são reforçados por temperaturas mais altas durante a seca (McDowell et al. 2011).

As florestas tropicais possuem um papel fundamental na mitigação da mudança climática global, principalmente por meio da remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico e armazenamento em sua biomassa (Lugo e Brown 1992), atuando como um importante sumidouro e reservatório de carbono terrestre (Malhi et al. 2011; Le Quéré et al. 2016). *Hymenaea courbaril* é uma espécie de árvore tropical de grande porte e longa vida, que pode ultrapassar os 300 anos de idade (Locosselli et al. 2017). Contudo, as espécies que apresentam árvores de grande porte, como a aqui estudada, parecem estar sob maior risco de sofrerem impactos negativos provocados por secas mais quentes (Phillips et al. 2010; Zhou et al. 2013; McDowell e Allen 2015). Especialmente em situações de eventos extremos com altas temperaturas, onde os riscos parecem ficar ainda mais evidentes (Siqueira e Peterson 2003; Urban 2015; Esquivel-Muelbert et al. 2019).

## 5. CONCLUSÃO

Evidenciamos que, nos últimos 60 anos a taxa de crescimento radial de árvores adultas de *Hymenaea courbaril* na transição Amazônia-Cerrado foi controlada pelo clima local, apresentando valores menores em anos com baixa precipitação. Contudo, nos últimos 20 anos as árvores desta população apresentaram valores menores das taxas de crescimento em anos de baixa precipitação combinados com elevada temperatura máxima. Destacamos que essas elevadas temperaturas podem ser limitantes ao incremento radial de *H. courbaril*. Assim, levando-se em consideração a compreensão das relações entre algumas variáveis climáticas e o crescimento dessa espécie poderemos compreender melhor as relações clima-crescimento de outras espécies arbóreas de florestas tropicais da borda sul-Amazônica.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams HD, Collins AD, Briggs SP, Vennetier M, Dickman LT, Sevanto SA, Garcia-Fornier N, Powers HH, McDowell NG (2015) Experimental drought and heat can delay phenological development and reduce foliar and shoot growth in semiarid trees. *Global change biology* 21:4210-4220. <https://doi.org/10.1111/gcb.13030>.
- Aguilar E, Peterson TC, Obando PR et al (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110:D23. <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>.
- Almeida CT, Oliveira- Júnior JF, Delgado RC, Cubo P, Ramos MC (2017) Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *International Journal of Climatology* 37:2013-2026. <https://doi.org/10.1002/joc.4831>.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes G, Leonardo J, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Alves LM, Marengo JA, Fu R, Bombardi RJ (2017) Sensitivity of Amazon regional climate to deforestation. *American Journal of Climate Change* 6:75. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61005>.
- Barichivich J, Gloor E, Peylin P, Brienen RJ, Schöngart J, Espinoza JC, Pattanayak KC (2018) Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened

- Walker circulation. Science advances 4:eaat8785.  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aat8785>.
- Boisier JP, Ciais P, Ducharne A, Guimberteau M. (2015) Projected strengthening of Amazonian dry season by constrained climate model simulations. Nature Climate Change 5:656-650. <https://doi.org/10.1038/nclimate2658>.
- Bonan GB (2008) Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science 320:1444-1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>.
- Borchert R (1999) Climatic Periodicity, Phenology, and Cambium Activity in Tropical Dry Forest Trees. Iawa Journal 20:239-247. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000687>.
- Brienen RJW, Phillips OL, Feldpausch TR et al (2015) Long-term decline of the Amazon carbon sink. Nature 519:344-348. <https://doi.org/10.1038/nature14283>.
- Brienen RJ, Schöngart J, Zuidema PA (2016) Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. In Tropical tree physiology 439-461. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5_20).
- Brown M (1995) A history of Madagascar. Princeton, NJ: Markus Wiener Publications.
- Carvalho PER (2003) Espécies Arbóreas Brasileiras. v. 1. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. Colombo/PR: Embrapa Florestas.
- Carvalho PER (2007) Jatobá-do-cerrado - *Hymenaea stigonocarpa*. Circular Técnica. Colombo/PR: Embrapa Florestas.
- CIPEM – Centro das Indústrias produtoras e Exportadoras de Madeiras de Mato Grosso. Dados do Setor: Setor de Base Florestal registra crescimento no comércio de produtos. 2012. Disponível em: <<http://www.cipem.org.br/conteudo.php?sid=44&cid=1637>>. Acesso em: fevereiro de 2019.
- Coe MT, Silverio DV, Bustamante M, Macedo M, Shimbo J, Brando PM (2016) Feedbacks between land cover and climate changes in the Brazilian Amazon and Cerrado biomes. In AGU Fall Meeting Abstracts.
- Cook ER, Holmes RL (1996) Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, Tucson.
- Cook E, Kairiukstis L (1989) Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht, Kluwer Academic.
- Corlett RT (2016) The impacts of droughts in tropical forests. Trends in plant science 21:584-593. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.02.003>.
- Détienne P (1989) Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. Iawa Journal Utrecht 10:123-132. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000480>.

- Duan H, Duursma RA, Huang G, Smith RA, Choat B, O'Grady AP, Tissue DT (2014) Elevated [CO<sub>2</sub>] does not ameliorate the negative effects of elevated temperature on drought-induced mortality in *Eucalyptus radiata* seedlings. *Plant, Cell & Environment* 37:1598-1613. <https://doi.org/10.1111/pce.12260>.
- Duan H, O'Grady AP, Duursma RA, Choat B, Huang G, Smith RA, Jiang Y, Tissue DT (2015) Drought responses of two gymnosperm species with contrasting stomatal regulation strategies under elevated [CO<sub>2</sub>] and temperature. *Tree physiology* 35:756-770. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv047>.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1999) Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, pp 412.
- Espinoza JC, Ronchail J, Guyot JL, Junquas C, Vauchek P, Lavado W, Drapeau G, Pombosa R (2011) Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *Geophysical Research Letters* 38:13. <https://doi.org/10.1029/2011GL047862>.
- Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG et al (2019) Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global change biology* 25:39-56. <https://doi.org/10.1111/gcb.14413>.
- Gentry AH (1988) Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 85:156-159. <https://doi.org/10.1073/pnas.85.1.156>.
- Grandis A, Godoi S, Buckeridge MS (2010) Respostas fisiológicas de plantas amazônicas de regiões alagadas às mudanças climáticas globais. *Revista Brasileira de Botânica* 33:1-12.
- Grogan J, Schulze M (2012) The impact of annual and seasonal rainfall patterns on growth and phenology of emergent tree species in southeastern Amazonia, Brazil. *Biotropica* 44:331-340. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00825.x>.
- Hansen J, Sato M, Ruedy R (2012) Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:E2415-E2423. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205276109>.
- Hoegh-Guldberg O, Jacob D, Taylor M et al. (2018) Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems. In: *Global Warming of 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Holmes RL (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring bulletin* 43:69-78. <http://hdl.handle.net/10150/261223>.
- Houghton RA (1994) The worldwide extent of land-use change. *BioScience* 44:305-313. <https://doi.org/10.2307/1312380>.
- Hughes MK (2002) Dendrochronology in climatology—the state of the art. *Dendrochronologia* 20:95-116. <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00011>.
- Ivanauskas NM, Monteiro R, Rodrigues RR (2008) Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Xingu. *Acta Amazonica* 38:387–402.
- Jiménez- Muñoz JC, Sobrino JA, Mattar C, Malhi Y (2013) Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118:5204-5215. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50456>.
- Jones B, Sall J (2011) JMP statistical discovery software. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 3:188-194. <https://doi.org/10.1002/wics.162>.
- Kelley CP, Mohtadi S, Cane MA, Seager R, Kushnir Y (2015) Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112:3241-3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>.
- Killeen TJ, García E, Beck SG (1993) Guía de árboles de Bolivia (No. C/581.984 G8). Herbario Nacional de Bolivia; Missouri Botanical Garden.
- Krottenthaler S, Pitsch P, Helle G, Locosselli GM, Ceccantini G, Altman J, Svoboda M, Dolezal J, Schleser G, Anhuf D (2015). A power-driven increment borer for sampling high-density tropical wood. *Dendrochronologia* 36:40-44. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.005>.
- Le Quéré C, Andrew R, Canadell JG, et al. (2016) Global carbon budget 2016. *Earth Syst. Sci.* 8:605–649. <https://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>.
- Lewis GP (1987) Legumes of Bahia. Royal Botanical Gardens Kew, London.
- Lewis SL, Brando PM, Phillips OL, Heijden GMFVD, Nepstad D (2011) The 2010 Amazon Drought. *Science* 331:554-554. <https://doi.org/10.1126/science.1200807>
- Lewis SL, Edwards DP, Galbraith D (2015) Increasing human dominance of tropical forests. *Science* 349:827-832. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>.
- Lisi CS, Fo MT, Botosso PC, Roig FA, Maria VR, Ferreira-Fedele L, Voigt AR (2008) Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *Iawa Journal* 29:189-207. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000179>.

- Lloyd J, Farquhar GD (2008) Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions and Royal Society of London. Series B: Biological sciences* 363:1811-1817. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0032>.
- Locosselli GM, Buckeridge MS, Moreira MZ, Ceccantini G (2013) A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. *Trees* 27:25-36. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0764-x>.
- Locosselli GM, Krottenthaler S, Pitsch P, Anhuf D, Ceccantini G (2017) Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp.–Leguminosae) Inhabiting different tropical biomes. *Erdkunde* 71:45-57. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2017.01.03>.
- Locosselli GM, Schöngart J, Ceccantini G (2016) Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. *Trees* 30:1127-1136. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1351-8>.
- Luchi AE (1998) Periodicidade de crescimento em *Hymenaea courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo
- Lugo AE, Brown S (1992) Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 54:239-255. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90016-3](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90016-3).
- Machado EC, Schmidt PT, Medina CL, Ribeiro RV (2005) Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa agropecuária brasileira* 40:1161-1170.
- Malhi Y, Doughty C, Galbraith D (2011) The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366:3225–3245. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0062>.
- Marengo RA, Antezana-Vera SA, dos Santos Gouvêa PR, Camargo MAB, de Oliveira MF, da Silva Santos JK (2015) Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. *Revista Ceres* 61:786-789. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461000004>.
- Marengo JA, Nobre CA, Tomasella J et al (2008) The drought of Amazonia in 2005. *Journal of climate* 21:495-516. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>.
- Marengo JA, Souza Junior CM, Thonicke K, Burton C, Halladay K, Betts RA, Alves LM, Soares WR (2018) Changes in climate and land use over the Amazon Region: current and future variability and trends. *Frontiers in Earth Science* 6:228. <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.

- Marengo JA, Tomasella J, Alves LM, Soares WR, Rodriguez DA (2011) The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys Res Lett* 38:L12703. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>.
- Marimon BS, Felfili JM, Fagg CW, Marimon-Junior BH, Umetsu RK, Oliveira-Santos C, Morandi OS, Lima HS, Nascimento ART (2012) Monodominance in a forest of *Brosimum rubescens* Taub. (Moraceae): structure and dynamics of natural regeneration. *Acta oecologica* 43:134-139. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.07.001>.
- Marimon BS, Felfili JM, Lima ES, Duarte WMG, Marimon-Junior BH (2010) Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazonia boundaries in Brazil. *Acta Amazonica* 40:107–118. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100014>.
- Marimon BS, Lima ES, Duarte TG, Chieregatto LC, Ratter JA (2006) Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian Forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany* 63:323–341. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000576>.
- Marimon BS, Marimon-Junior BH, Feldpausch TR, Oliveira-Santos C, Mews HA, Lopez-Gonzales G, Lloyd J, Franczak DD, de Oliveira EA, Maracahipes L, Miguel A, Lenza E, Phillips OL (2014) Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia. *Plant Ecology & Diversity* 7:281-292. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.818072>
- Marimon-Junior BH, Hay JDV, Oliveras I, Jancoski H, Umetsu RK, Feldpausch TR, Galbraith DR, Gloor E, Phillips, OL, Marimon, BS (2019) Soil water-holding capacity and monodominance in Southern Amazon Tropical Forests. *Plant and Soil* (in press).
- Marques EQ, Marimon-Junior BH, Marimon BS, Matricardi EA, Mews HA, Colli GR (2019) Redefining the Cerrado–Amazonia transition: Implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01720-z>.
- McDowell NG, Allen CD (2015) Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change* 5:669– 672. <https://doi.org/10.1038/nclimate2641>.
- McDowell NG, Beerling DJ, Breshears DD, Fisher RA, Raffa KF, Stitt M (2011) The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality.



- Trends in Ecology & Evolution 26:523-532.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.06.003>.
- Nascimento HHC, Nogueira RJMC, Silva EC, Silva MA (2011). Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. *Revista Árvore* 35:617-626.
- Ogren WL (1984) Photorespiration: pathways, regulation and modification. *Annual Review of Plant Physiology* 35:415–442.
- Olivares I, Svenning JC, van Bodegom PM, Balslev H (2015) Effects of warming and drought on the vegetation and plant diversity in the Amazon basin. *The Botanical Review* 81:42-69. <https://doi.org/10.1007/s12229-014-9149-8>.
- Paredes-Villanueva K, López L, Brookhouse M, Cerrillo RMN (2015) Rainfall and temperature variability in Bolivia derived from the tree-ring width of *Amburana cearensis* (Fr. Allem.) AC Smith. *Dendrochronologia* 35:80-86. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.04.003>.
- Phillips OL, Van Der Heijden G, Lewis SL et al (2010) Drought–mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist* 187:631-646. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03359.x>.
- R Development Core Team (2017) A language and environment for statistical computing. <http://www.R-project.org> [ver. 3.3.3]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Ratter J, Richards PW, Argent G, Gifford DR (1973) Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso: I - The woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo expedition area. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 266:449-489. <https://doi.org/10.1098/rstb.1973.0053>.
- Rifai SW, Girardin CAJ, Berenguer E et al. (2018) ENSO Drives interannual variation of forest woody growth across the tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 373:20170410. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0410>.
- Rocha VM (2016) Avaliação dos impactos das mudanças climáticas na reciclagem de precipitação da Amazônia: um estudo de modelagem numérica. *Revista Brasileira de Climatologia* 19:91-112. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48875>.
- Rolland C (1993) Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal alps. *Tree Ring Bull* 53:1–11.

- Sausen GK, Estevão CIM, Furquim MC, Araújo S, de Oliveira JEF (2017) Densidade básica da madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril*), pelo método de aferição do volume em imersão em água. Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar 1.
- Schweingruber FH (1996) Tree rings and environment dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne.
- Schweingruber FH (2012) Trees and wood in dendrochronology: morphological, anatomical, and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology. Springer Science & Business Media
- Shanley P, Medina G (2018). Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Cifor, Amazônia.
- Silva FB, Santos JRN, Feitosa FECS et al (2016) Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. Revista Brasileira de Meteorologia 31:330-336. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150149>.
- Siqueira JO, Curi N, Vale FR, Ferreira MM, Moreira FMS (1995) Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. CEMIG, Belo Horizonte.
- Siqueira MFD, Peterson AT (2003) Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. Biota Neotropica 3:1-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032003000200005>.
- Trouet V, Van Oldenborgh GJ (2013) KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. Tree-Ring Research 69:3-14. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>.
- Urban MC (2015) Accelerating extinction risk from climate change. Science 348:571-573.
- Vale R, Filizola N, Souza R, Schöngart J (2011) A cheia de 2009 na Amazônia Brasileira. Revista Brasileira de Geociências 41:577-586. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4984>.
- Vlam M, Baker PJ, Bunyavejchewin S, Zuidema PA (2014) Temperature and rainfall strongly drive temporal growth variation in Asian tropical forest trees. Oecologia 174:1449-1461. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2846-x>.
- Wigley TM, Briffa KR, Jones PD (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology 23:201-213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2).

Woodward FI, Woodward FI (1987) *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press.

Zhou G, Peng C, Li Y, Shizhong L, Zhang Q, Tang X, Liu J, Zhang JYD, Chu G (2013) A climate change- induced threat to the ecological resilience of a subtropical monsoon evergreen broad- leaved forest in Southern China. *Global Change Biology* 19:1197-1210. <https://doi.org/10.1111/gcb.12128>.