

## Tendências no crescimento de árvores do Cerrado em diferentes fases ontogenéticas e condições de disponibilidade de nutrientes

**Palavras-chave:** dendroecologia; *Hymenaea courbaril*; anéis de crescimento.

**Cauê Calvo Necchi, IB – Unicamp** (caueneccchi@gmail.com)

**Manolo Trindade Quintilhan, IB – Unicamp**

**Peter Stoltenborg Groenendijk, IB – Unicamp** (peterg@unicamp.br)

### OBJETIVOS DA PESQUISA

As florestas tropicais são um grande estoque de carbono global e têm papel fundamental nos ecossistemas terrestres e nos serviços ecossistêmicos fornecidos por eles (Bonan, 2008). Entretanto, não está claro como diferentes condições ambientais ao longo dessas florestas afetam o crescimento de árvores.

O Cerrado brasileiro é a savana de maior biodiversidade do planeta, abrangendo um amplo espectro de condições físicas e químicas do solo. Compreender como a modulação do crescimento de árvores ocorre devido a essas condições é crítico ao entendimento dos ciclos de carbono em florestas tropicais. Por meio da avaliação dos anéis de crescimento de árvores (Dendrocronologia) é possível datar e reconstruir o crescimento de indivíduos arbóreos ao longo de toda a sua longevidade.

A formação de xilema é regulada por flutuações ambientais, incluindo a sazonalidade climática e **condições ambientais** (Hacke e Sperry, 2001). Isso faz com que algumas espécies arbóreas formem anéis de crescimento anuais. Assim, por meio da

mensuração da largura desses anéis é possível estimar o crescimento anual para longas séries temporais (Fritts, 1976). Contudo, para a avaliação de **mudanças** de longo prazo os efeitos **ontogenéticos** no crescimento **devem ser considerados** (Briffa & Melvin, 2011). Técnicas como o isolamento de classes diamétricas (SCI) permitem comparar indivíduos de diferentes idades, mas sob mesma classe de tamanho (Peters et al., 2015).

Dessa forma, as árvores são um dos mais importantes arquivos naturais das variações climáticas abrangendo longos períodos de tempo em diferentes condições ambientais (Fonti et al., 2010). Árvores de jatobá por apresentarem anéis anuais, ampla distribuição e longevidade (>250 anos) são fundamentais para avaliações do crescimento de árvores ao longo de florestas tropicais (Locosselli et al., 2016). Nesse sentido, no presente trabalho investigamos como as variações do crescimento de árvores de *Hymenaea courbaril* ocorrem ao longo do tempo em diferentes ambientes (solo e água) e ao longo de diferentes classes ontogenéticas (classes diamétricas) em uma floresta tropical seca do Cerrado.

Tendo isso em vista, hipotetizamos que:

- **H1: Árvores apresentarão menores taxas de crescimento dentro das classes diamétricas em anos mais recentes devido a maiores temperaturas e menor precipitação;**
- **H2: Solos com maior teor de nutrientes resultarão em árvores com maior taxa de crescimento, principalmente para as classes diamétricas menores, que não estão completamente estabelecidas.**

### METODOLOGIA DA PESQUISA

O sítio de coleta se situa dentro do Parque Nacional (PARNA) de Sete Cidades (Piracuruca-PI), uma região de fitofisionomia de Caatinga em transição com o Cerrado (Figuras 1 e 2). A precipitação total média anual no Parque é de 1.300 mm e temperatura média anual entre 26° e 28° C (ICMBio, 2014). Além disso, há pelo menos cinco meses de seca com precipitação inferior a 100mm. (Figuras 1 e 2). A precipitação total média anual no Parque é de 1.300 mm e temperatura média anual entre 26° e 28° C (ICMBio, 2014).

No sítio, foram delimitadas 3 parcelas (Figura 4A) **através de** pontos aleatórios na área de estudo. **Para cada parcela, localizou-se** o indivíduo de *H. courbaril* mais próximo, **estabelecendo-se a parcela em função de** um raio de 55 m. Dentro dessa parcela, amostrou-se todos os indivíduos com Diâmetro a Altura do Peito >10 cm. Nas parcelas SC01 E SC03 observou-se condições ambientais de mata seca aberta, com solo raso e pedregoso, enquanto que em SC02, mata mais densa, alta e úmida. Para averiguação da associação das parcelas com fontes naturais de água, consultou-se o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM) do Serviço Geológico Brasileiro (SGB). Para SC02 foi confirmada a presença de uma única fonte natural de água adjacente à parcela, conforme mostra a figura 4.

Em cada parcela, foram coletados: (i) material biológico (3-4 baguetas de madeira por indivíduo) de cerca de 10 indivíduos de *H. courbaril* (no total das 3 parcelas, foram 32 indivíduos) utilizando um trado motorizado (Figura 3); (ii) e três amostras de solo para a quantificação de variáveis físico-químicas. A identificação das espécies foi feita pela morfologia das folhas.

As análises das amostras do solo foram realizadas seguindo os métodos determinados em: “Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais” (Instituto Agrônomo, Campinas - 2001) e “Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes” (Embrapa, Brasília – 2009). Foram avaliadas as seguintes variáveis: pH, matéria orgânica, fósforo total (P\_Res), cálcio, potássio, íons de hidrogênio e alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V%), saturação por alumínio (m%), saturação por elemento (Ca%, Mg% e K%), areia total, areia grossa, areia fina, argila e silte.

As baguetas de madeiras foram secas ao ar, cortadas e polidas para uma melhor visualização dos anéis de crescimento. Após isso, as amostras foram digitalizadas em alta resolução (2400 dpi) e os limites e tamanhos dos anéis foram medidos através do software CooRecorder. A medição dos anéis dentro de cada indivíduo foi feita pela marcação de todos os possíveis anéis em cada raio. Seguido da comparação visual e estatística (correlação) dessas marcações com os outros raios do mesmo indivíduo (*cross-dating*) para eliminação de anéis falsos. Por fim, as séries de crescimento foram verificadas usando métodos de cruzamentos visuais e estatísticos dentro de árvores (i.e. dentre diferentes raios do mesmo indivíduo) usando COFECHA (Holmes, 1983).

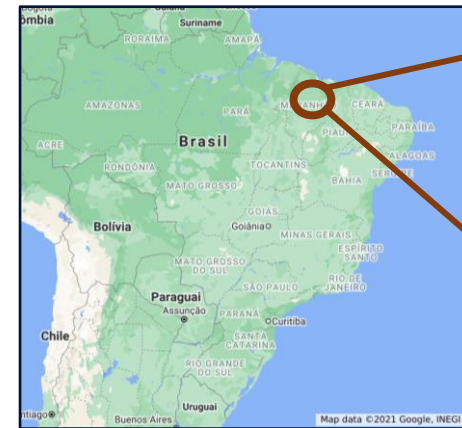


Fig. 1: Mapa evidenciando a região do Parque Nacional de Sete Cidades - PI



Fig. 2: Mapa mostrando a localização do PARNA de Sete Cidades com imagens de satélite



Fig. 3: Coleta das baguetas de madeira com o trado motorizado (Stihl BT45)

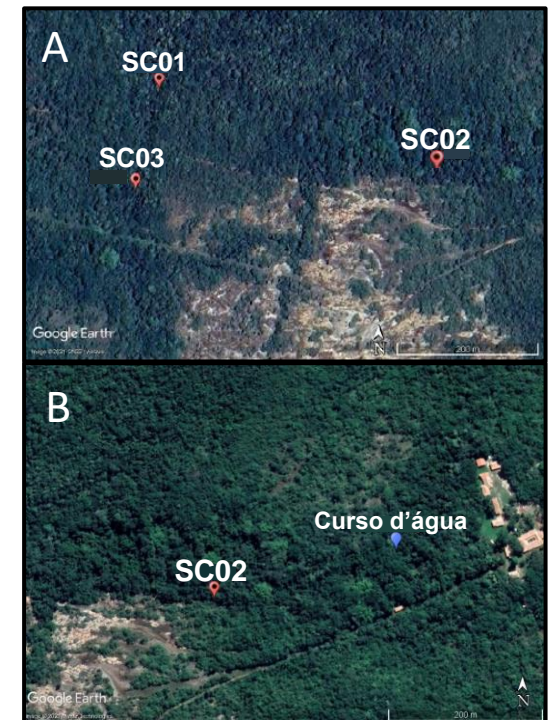


Fig. 4 – A: Localização das parcelas de coleta do material biológico dos indivíduos de *H. courbaril* no PARNA de Sete Cidades. B: Mapa mostrando proximidade entre a parcela SC02 e o curso d'água presente na área. PARNA de Sete Cidades - PI

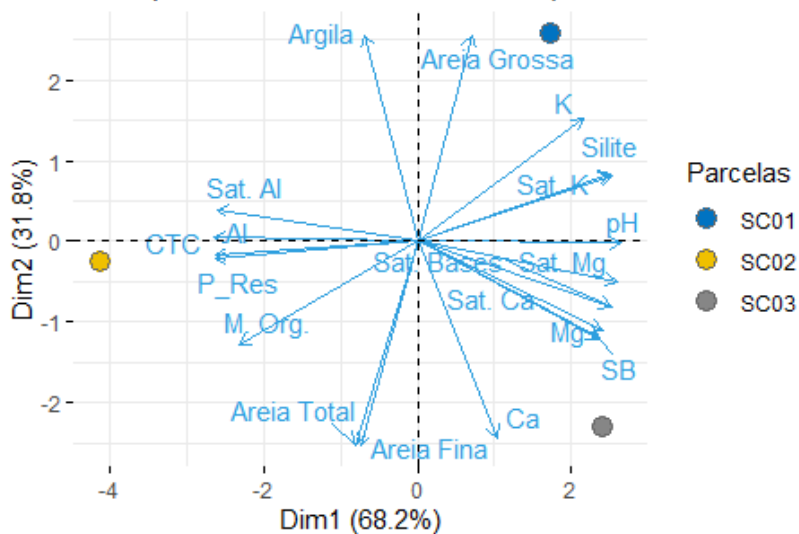


Para avaliar as dinâmicas de crescimento e biomassa das árvores ao longo do tempo, utilizamos o método de isolamento em classes diamétricas (Size Class Isolation, SCI) (Peters *et al.*, 2015). Este método permite avaliar diferenças entre as árvores, de diferentes idades, abordando a mesma classe ontogenética (i.e. comparamos diferentes indivíduos observando uma classe de tamanho isolada (e.g. de 8-16 cm de diâmetro)).

A compilação dos dados de solo e crescimento, junto com as análises gráficas e estatísticas, foram geradas no R e RStudio com o auxílio de alguns pacotes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PCA-biplot das 20 variáveis físico-químicas



**Figura 5: Análise de Componentes Principais (PCA) com as variáveis físico-químicas das três parcelas de estudo dentro do Parque Nacional de Sete Cidades.**

Parcelas	pH	CTC	Mat. Org.	Al	Areia Total	Argila
SC01	4,3	52,7	23	4,7	778	91
SC02	3,5	166,3	43	19,5	811	79
SC03	4,4	49	19,3	2,7	816	57

**Tabela 1: Principais variáveis físico-químicas para cada parcela de coleta no PARNA de Sete Cidades.**

Ao avaliarmos as condições físicas e químicas do solo ao longo das três parcelas do estudo, observou-se características distintas. A análise de componente principal (PCA) permite reduzir as variáveis em 2 eixos principais (PC1 e PC2) e ver agrupamentos dos pontos em relação a esses eixos (Figura 5).

Na composição química do solo (PC1), as parcelas SC01 e SC03 **apresentaram maior semelhança, devido aos valores, respectivamente, de:** pH (4,3 e 4,4); Matéria Orgânica (23 e 19,3); Fósforo residual (4,3 e 4,3); Cálcio (5 e 9); Magnésio (3,3 e 4); Potássio (1 e 0,9); íons de hidrogênio + alumínio (43,3 + 35); Alumínio (4,7 e 2,7); Soma de Bases (9,4 e 13,9) e Capacidade de Troca catiônica (52,7 e 49).

Na composição física do solo (PC2), **todas diferem entre si**, com SC01 e SC03 apresentando características mais extremas, e SC02 apresentando características intermediárias. SC01 teve a maior quantidade de argila (91), silite (131) e areia grossa (142), e a menor quantidade de areia total e areia fina (778 e 636, respectivamente).

SC02 apresentou as seguintes quantidades: argila (79); silite (110); areia total (811); areia grossa (94); areia fina (717). SC03 apresentou a maior quantidade de areia total (816) e areia fina (732), além disso apresentou: areia grossa (84); argila (57); e silite (126).

Na regressão linear do crescimento em diâmetro anual e o ano do crescimento (Figura 6), através do método de isolamento em classes diamétricas (SCI), foi observado uma diminuição do crescimento conforme os anos avançam em todas as 7 classes diamétricas e **com relevância estatística ( $p < 0,05$ ) em 5 delas**. Também existe uma relação inversamente proporcional entre a classe diamétrica e o coeficiente angular da reta de regressão. Conforme a classe aumenta, o coeficiente angular diminui, aumentando a inclinação negativa que as retas possuem.

Na figura 7, é possível observar a variação do crescimento entre as parcelas dentro de diferentes classes diamétricas. Árvores da parcela SC02, **creceram mais** que as árvores das parcelas SC01 e SC03 em todas as classes diamétricas. Árvores de SC01 e SC03 tiveram crescimento similares em todas as classe, exceto nas classes “16-20 cm” (16 no gráfico) e “20-24 cm” (20 no gráfico). Nestas, SC03 teve o menor crescimento e SC01 teve um crescimento intermediário entre SC03 e SC02.

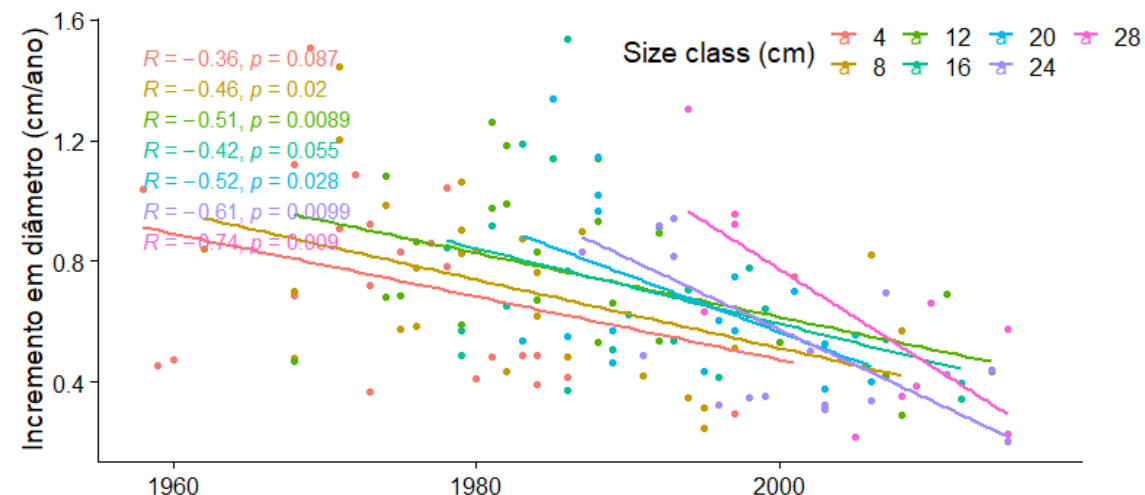
Solos pobres em nutrientes limitam a possibilidade de maior crescimento, em especial em indivíduos mais jovens (i.e. classes diamétricas menores) em que há um

maior investimento em crescimento conforme a disponibilidade de nutrientes aumenta (Ortega Rodriguez *et al.*, 2018). SC02 é a parcela com o solo mais pobre, e SC01 e SC03 possuem solos com quantidades de nutrientes semelhantes. Logo, seria esperado observar um crescimento nas classes diamétricas das árvores em SC01 e 03 parecido, além de um menor crescimento nas árvores da parcela SC02. Porém, nas últimas duas classes diamétricas observamos que **em SC03 há um menor crescimento que em SC01** e que **as árvores da SC02 superaram o crescimento das outras parcelas em todas as classes diamétricas**.

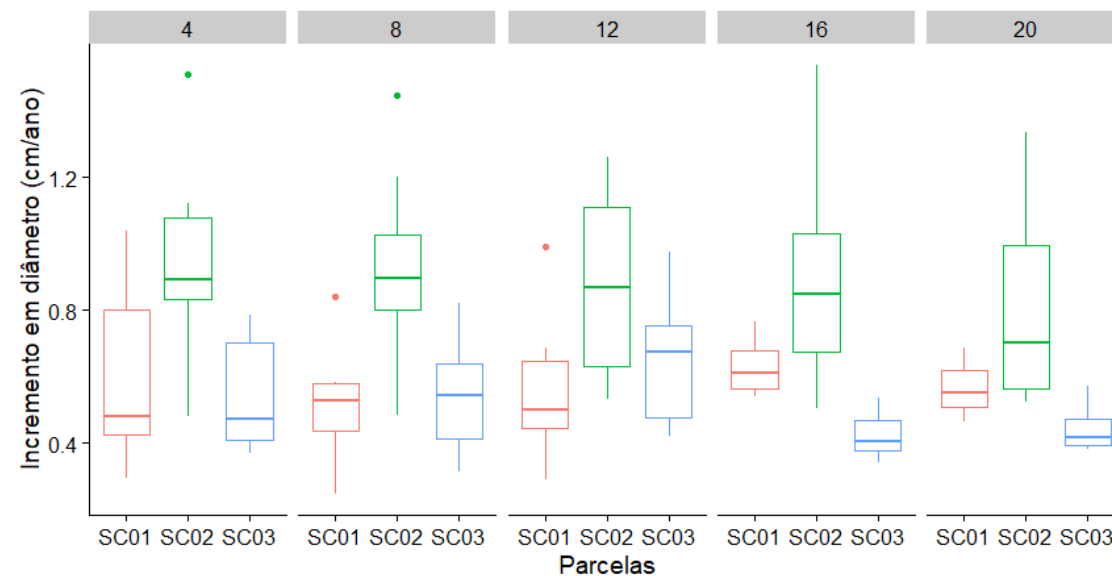
Como a influência do solo no crescimento é mais marcante quando o indivíduo é jovem (Ortega Rodriguez *et al.*, 2018), conclui-se que a diferença no crescimento observada entre SC01 e 03 nas classes diamétricas maiores **possui uma outra causa**. Esta causa provavelmente é a **disponibilidade de água**, pois em SC03 observou-se o solo mais arenoso e menos argiloso, o que diminui a retenção de água pelo solo e aumenta o estresse hídrico das plantas (Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma, **a água foi o principal fator limitante ao crescimento** das árvores de jatobá (Locosselli *et al.*, 2016) nas maiores classes diamétricas.

Nessa mesma linha, condições ambientais locais foram determinantes para o maior crescimento observado na parcela SC02, **em especial a disponibilidade de água**. Uma vez que existe um curso d'água adjacente à ela (Figura 4B) e ela teve **o maior crescimento** entre as parcelas, **mesmo apresentando o solo mais pobre** (Ronquim/Embrapa, 2010). Dessa forma, nota-se a influência da disponibilidade de água sobre o crescimento e a **importância da atenção às condições locais** para o estudo e análise das tendências de crescimento ao longo do tempo, sendo esta uma potencial fonte de vieses.

A descoberta de redução do crescimento com  $p < 0,05$  nas 5 classes diamétricas (Fig. 6) vai de encontro com as descobertas de Brienen *et al.* (2010) e Locosselli *et al.* (2016). Estes estudos encontraram diminuições no crescimento de espécies arbóreas em florestas tropicais secas em anos mais recentes, devido principalmente a maior estresse climático (i.e. maiores temperaturas e menor precipitação). Porém, a população aqui estudada apresenta um padrão de recrutamento na idade das árvores. Esse padrão enviesado os dados e, portanto, essa correlação negativa observada não



**Figura 6 – Regressão linear do incremento diamétrico anual dos indivíduos vs. ano em que o indivíduo teve esse crescimento, separada em 6 classes diamétricas (4-8 cm; 8-12 cm; 12-16 cm; 16-20 cm; 20-24 cm; 24-28 cm)**



**Figura 7 – Boxplot do incremento diamétrico anual dos indivíduos de *H. courbaril* divididos pelas 3 parcelas (SC01, SC02, SC03) e em 5 classes diamétricas (4-8 cm; 8-12 cm; 12-16 cm; 16-20 cm; 20-24 cm, respectivamente no gráfico)**

pode ser considerada como significativa. Pois, se removido esse efeito, a **significância provavelmente deixará de existir**, conforme demonstrado por Brien *et al.* (2017) em um estudo de van der Sleen *et al.* (2014) em que havia sido encontrado correlação negativa significativa em uma população com padrão de recrutamento da idade das árvores.

## CONCLUSÕES

As maiores taxas de crescimento de indivíduos de *H. courbaril* da parcela SC02 observadas em todas as classes diamétricas analisadas são diretamente causadas pela presença de um corpo d'água adjacente à parcela. Essa descoberta confirma a importância do levantamento das condições microambientais (e.g. corpos d'água em determinadas parcelas) na avaliação do crescimento de árvores de florestas tropicais, como o Cerrado (Locosselli *et al.*, 2016). Mesmo em condições ambientais mais desfavoráveis (i.e. solo mais tóxicos (Al<sup>+</sup>) e mais ácidos), árvores da Parcela SC02 superaram o crescimento das demais. Portanto, a hipótese do crescimento de *H. courbaril* ser **explicado principalmente** pela proximidade com um curso d'água é **mais plausível**. A principal relevância desta descoberta é que em estudos de análise de tendências de crescimento é essencial observar para as diferentes condições que as parcelas de uma mesma população estão condicionadas. Isto pode, inclusive, ser uma fonte de vieses para a análise.

Além disso, é provável que condições ambientais mais severas (maiores temperaturas e menor precipitação) afetem florestas tropicais secas ainda mais, reduzindo seu crescimento e aumentando sua mortalidade, visto se encontram em condições já limitantes (Brien *et al.* 2010; Locosselli *et al.* 2016). Entretanto, pela limitação dos nossos dados, não podemos usar a regressão em SCI para aceitar essa hipótese. Mas, pela diferença significativa observada entre a parcela mais próxima à água e as demais, podemos, dessa forma, **aceitar a hipótese de que mudanças nas condições ambientais afetarão o crescimento**. Além disso, é demonstrado que mapear as condições microambientais é fundamental na detecção de micro-regiões mais susceptíveis, ou não, aos efeitos das mudanças do clima. **Considerando o trade-off que ocorre entre estratégias aquisitivas de crescimento em detrimento de atributos de segurança, mudanças, como: rios secando, ciclos de nutrientes alterados e eventos climáticos extremos provavelmente trarão maior risco** a populações que estão habituadas com maior disponibilidade hídrica.

## AGRADECIMENTOS

Esse projeto foi realizado por um aluno bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica (Edital IC Nº 01/2020 de março de 2020) da Pro-Reitoria de Pesquisa – Unicamp em conjunto com o CNPq. O presente projeto também é parte do projeto Jovem Pesquisador FAPESP (2018/01847-0).

## BIBLIOGRAFIA

- BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. 2008.
- BRIENEN RJ, GLOOR M, ZIV G. Tree demography dominates long-term growth trends inferred from tree rings. *Glob Chang Biol.*; 23(2):474-484. 2017
- BRIFFA KR, MELVIN TM. A closer look at regional curve standardization of tree-ring records: justification of the need, a warning of some pitfalls, and suggested improvements in its application. *Dendroclimatology: Progress and Prospects.* pp Page., Springer Verlag. 2011.
- FONTI, P.; ARX, G. VON; GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; EILMANN, B.; SASS-KLAASSEN, U.; GÄRTNER, H.; ECKSTEIN, D. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 2010.
- FRITTS, H. C. Tree rings and climate. [s.l.] Academic Press, 1976.
- HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 4, n. 2, p. 97–115, 2001.
- HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, v. 43, n. 1, p. 69–78, 1983.
- 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, 11 ago. 2016.
- ORTEGA RODRIGUEZ, D. R., DE CARVALHO H. W. P., TOMAZELLO-FILHO M. Nutrient concentrations of 17-year-old *Pinus taeda* annual tree-rings analyzed by X-ray fluorescence microanalysis. *Dendrochronologia*, v. 52 (p. 67-79), 2018.
- PETERS, R.L., GROENENDIJK, P., VLAM, M. and ZUIDEMA, P.A. Detecting long-term growth trends using tree rings: a critical evaluation of methods. *Glob Change Biol*, 21: 2040-2054. 2015.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 2010.
- TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal* (6th ed.). Artmed Editora. 2017
- VAN DER SLEEN, P., GROENENDIJK, P., VLAM, M. *et al.* No growth stimulation of tropical trees by 150 years of CO<sub>2</sub> fertilization but water-use efficiency increased. *Nature Geoscience*, 8, 4. 2014