

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAIS**  
**E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Dendrocronologia de *Schizolobium parahyba* ( Vell.) Blake na Floresta Atlântica.**

**Milene Teixeira de Souza**

**2013**



**INSTITUTO DE FLORESTA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
E FLORESTAIS**

**DENDROCRONOLOGIA DE *Schizolobium parahyba* ( Vell.) Blake NA  
FLORESTA ATLÂNTICA.**

**Milene Teixeira de Souza**

*Sob a Orientação do Professor*  
**João Vicente de Figueiredo Latorraca**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2013

583.0981

S729d

T

Souza, Milene Teixeira de, 1981-  
Dendrocronologia de Schizolobium  
parahyba (Vell.) Blake na Floresta  
Atlântica / Milene Teixeira de Souza. -  
2013.

40 f.: il.

Orientador: João Vicente de Figueiredo  
Latorraca.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais e  
Florestais, 2013.

Bibliografia: f. 29-36.

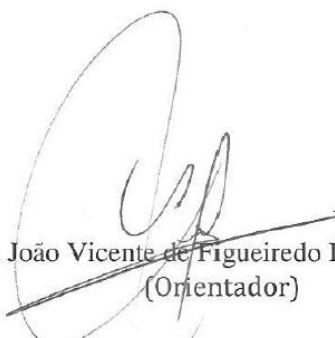
1. Guapuruvu (Árvore) - Mata Atlântica  
- Crescimento - Teses. 2. Madeira - Mata  
Atlântica - Anatomia - Teses. 3. Anéis de  
crescimento (Botânica) - Teses. 4.  
Dendrocronologia - Teses. I. Latorraca,  
João Vicente de Figueiredo, 1962- II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais. III.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**MILENE TEIXEIRA DE SOUZA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 21/02/2013



Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca, UFRRJ  
(Orientador)



Prof. Dr. Aécio Fritz Neves Brandes, UFF



Prof. Dra. Graciela Inês Bolzon de Muniz, UFPR

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Manoel e Maria  
das Graças, à minha família e a  
meu namorado José Antonio.  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e luz que me impulsionam a lutar para alcançar meus objetivos;

Aos meus pais Manoel e Maria das Graças, pelo exemplo de amor, carinho, força, dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida;

À minha família, pelo carinho e atenção sempre;

Ao meu namorado José Antonio, pelo amor, carinho, incentivo e apoio durante toda essa trajetória;

Ao professor e orientador João Vicente de Figueiredo Latorraca, pela oportunidade e apoio e por acreditar em meu trabalho;

Ao núcleo de pesquisa e Qualidade da madeira, em especial a Leonardo e Letícia pela amizade, apoio e ajuda que contribuiu muito para a realização deste trabalho;

Ao técnico do Laboratório de Anatomia e Qualidade da madeira, Tiago pela boa vontade em ajudar sempre, pelo auxílio em campo e também no laboratório, e ao Sr Valter, pela auxílio durante as coletas de campo na ReBio do Tinguá;

Ao todos meus amigos pelo carinho, momentos de descontração e aos que mesmo de longe torceram por mim, incentivando e apoiando durante toda essa trajetória.

Aos professores Gustavo Lyra, Arno Fritz N. Brandes e Fidel, que de alguma forma ajudaram a tornar possível a realização dessa dissertação;

Ao curso de Pós-Graduação, pela oportunidade e apoio durante essa jornada;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Instituto de Florestas, ao Departamento Produtos Florestais e ao Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, pela aprendizagem e apoio para meu desenvolvimento acadêmico;

À CAPES pela bolsa-auxílio concedida durante esse trabalho para que eu pudesse me dedicar exclusivamente ao desenvolvimento dessa pesquisa;

À todos que de alguma forma participaram direta ou indiretamente desse momento importante da minha vida.

## RESUMO

SOUZA, Milene Teixeira. **DENDROCRONOLOGIA DE *Schizolobium parahyba* ( Vell.) Blake NA FLORESTA ATLÂNTICA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Floresta, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

O *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake popularmente conhecido por “guapuruvu” apresenta anéis de crescimento distintos, evidenciados por achatamento radial das fibras e maior espessamento de suas paredes no lenho tardio e pela presença de parênquima em faixa marginal, o que o torna uma espécie potencial para o estudo dendrocronológico. Neste contexto o objetivo deste estudo foi gerar conhecimentos sobre a dinâmica de crescimento *S. parahyba* em um remanescente florestal da Mata Atlântica na ReBio do Tinguá - RJ. Para cada indivíduo selecionado foram mensurados a altura e o diâmetro. As amostras do tronco foram retiradas através de um método não destrutivo (trado de incremento), a 1,30 m de altura do solo (DAP), no sentido casca-medula. Retiraram-se quatro raios para cada uma das trinta árvores de guapuruvu. Os anéis de crescimento foram delimitados e posteriormente mensurados. Para verificar a sincronização da largura dos anéis de crescimento foi utilizado o programa estatístico COFECHA. Logo após o programa ARSTAN foi utilizado para a remoção das tendências de crescimento da espécie. O *S. parahyba* apresentou bom ajuste das séries dos anéis de crescimento das árvores individuais e em conjunto. A espécie possui sensibilidade a variações climáticas, apresentando boa correlação para o crescimento com a estação do inverno.

**Palavras-chave:** anel de crescimento, anatomia da madeira, dinâmica de crescimento.

## ABSTRACT

SOUZA, Milene Teixeira. **DENDROCHRONOLOGY OF *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake FROM THE ATLANTIC FOREST.** Dissertation (Master Environmental and Forest Science). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

The *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake popularly known as "guapuruvu" has distinct growth rings, as evidenced by the radial flattening of the fibers as well the superior thickening of the walls in latewood and the presence of marginal parenchyma, that makes it greater potential specie to dendrochronological studies. The aim of this study was to generate knowledge about the dynamics of growth of *S. parahyba* in a remnant forest on the Atlantic Rain in Rebio Tingua - RJ. For each selected individual were measured dendrometric data, such as height and diameter. Samples were taken from the trunk through a non-destructive method (increment borer) to 1.30 m height (DBH), in the direction bark-pith. Four spokes for each of the thirty trees of guapuruvu, were removed. Growth rings were defined and subsequently measured. To verify the synchronization of the width of growth rings was used the statistical program COFECHA. The program ARSTAN was used for removal the growing trends of the species. The *S. parahyba* showed good fit of the series of growth rings either individually or together. The species has sensitivity to climatic variations, showing good correlation with growth of the winter season.

**Key words:** ring growth, wood anatomy, growth dynamics.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3. REVISÃO DE LIETERATURA.....	3
3.1 <i>Schizolobium parahyba</i> .....	3
3.2 Dendrocronologia.....	6
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4.1 Área de estudo.....	10
4.2. Coleta e preparo das amostras.....	11
4.3 Análises dendrocronologicas.....	14
4.3.1 Delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento.....	14
4.3.2 Sincronização dos anéis de crescimento .....	16
4.3.3 Correlação das séries cronológicas.....	16
4.3.4 Obtenção de dados climáticos e correlações com o crescimento .....	17
4.4. Crescimento radial do tronco das árvores .....	17
5. RESULTADO E DISCUSSÃO .....	18
5.1. Sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento.....	18
5.2. Correlação entre o índice do anel de crescimento vs precipitação.....	22
5.3. Crescimento radial do tronco das árvores .....	24
6. CONCLUSÃO .....	27
7. RECOMENDAÇÕES FINAIS .....	28
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
Anexos.....	37

## SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1. Diâmetros e alturas das árvores selecionadas na ReBio do Tinguá.....	12
Tabela 2. Qualidade da sincronização das séries de largura dos anéis por árvore. ....	18
Tabela 3. Correlação da cronologia de <i>Schizolobium parahyba</i> com a precipitação. ....	22
Tabela 4. Correlação da cronologia de <i>Schizolobium parahyba</i> com a precipitação mensal.....	23

## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1. Locais de ocorrência natural de <i>S. parahyba</i> no Brasil.....	4
Figura 2. Sessões transversais do lenho de <i>S. parahyba</i> . (A) Anéis de crescimento largos e anéis de crescimento mais estreitos indicados pela setas. (B) Limite do anel de crescimento indicado pela seta. (fonte: Callado & Guimarães, 2010).....	5
Figura 3. Área de coleta – Localização da Reserva Biológica do Tinguá - RJ. ....	10
Figura 4. Área de coleta – ReBio Tinguá , os pontos em verde claro indicam as 30 árvores coletadas. ....	11
Figura 5. Área de coleta – ReBio Tinguá , os pontos em verde claro indicam as 18 árvores utilizadas para construir a cronologia. ....	12
Figura 6. Retirada das amostras do lenho de <i>Schizolobium parahyba</i> com Trado de Incremento.....	13
Figura 7. Identificação das sessões radiais retiradas do lenho do <i>Schizolobium parahyba</i> . ....	13
Figura 8. Sessões radiais do lenho <i>Schizolobium parahyba</i> coladas em suportes de madeira. ....	14
Figura 9. Sessões transversais do lenho de <i>Schizolobium parahyba</i> lixadas e polidas. ....	15
Figura 10. Digitalização das amostras em scanner Epson Scan (A) e medição dos anéis de crescimento através do software Image Pro-Plus (B). ....	15
Figura 11. Séries Cronológicas do índice de largura dos anéis de crescimento do lenho de <i>S. parahyba</i> geradas pelo ARSTAN. (A) cronologia residual, (B) cronologia standard e (c) cronologia arstan. ....	20
Figura 12. Séries Cronológicas 2 do índice de largura dos anéis de crescimento do lenho de <i>S. parahyba</i> geradas pelo Arstan. (A) cronologia Residual, (B) cronologia Arstan e (c) cronologia gerada pelo COFECHA com cronologia Standard gerada pelo Arstan. ....	21
Figura 13. Incremento em diâmetro acumulado do tronco das arvores de Guapuruvu, (A) indica a árvore.....	25

## 1. INTRODUÇÃO

A Biodiversidade mundial está concentrada nas florestas tropicais, possuindo mais da metade das espécies do planeta. Com cerca de 14% da flora mundial, o Brasil possui aproximadamente 41.105 espécies de plantas conhecidas e um total estimado em 51.500 (Forza et al. 2010; Lewinsohn & Prado 2002), isso pode ser atribuído à variedade de Biomas existentes e seus complexos ecossistemas.

O Bioma Mata Atlântica abriga grande diversidade de espécies florestais e o Estado do Rio de Janeiro está integralmente inserido neste bioma. Contudo, as florestas foram sendo consumidas ao longo da história no Estado, para construção e obras, lenhas para uso doméstico e comercial, e as florestas foram sendo removidas a fim de comportar lavouras comerciais ou de subsistência, a implantação de pastagens e, também, para ceder espaço à crescente urbanização. Estima-se que a Mata Atlântica recobria, ao tempo da chegada dos portugueses ao Brasil, 98% do território fluminense, englobando a floresta ombrófila densa, e ecossistemas associados, como manguezais, restingas e campos de altitudes (INEA, 2013).

Neste contexto, a dendrocronologia, ciência que analisa e interpreta a formação dos anéis de crescimento das árvores, é uma boa ferramenta de estudo para o conhecimento da dinâmica de crescimento das árvores. Esta ciência nos permite a obtenção de dados que auxiliarão no direcionamento estratégico para Planos de Manejo Florestal, qualidade e incremento dos volumes de madeira, assim como a estimativas de biomassa e de acumulação de CO<sub>2</sub>. A análise das anéis de crescimento podem nos fornecer informações sobre o crescimento, idade e das relações com o ambiente (Worbes 2002; Brienen & Zuidema 2006).

Dentre diversas espécies da Floresta Atlântica o *Schizolobium parahyba*, conhecido por guapuruvu, é uma espécie com potencial para estudos dendrocronológicos, pois apresenta anéis de crescimento distintos e periodicidade anual de crescimento. É uma espécie de ampla distribuição geográfica e está entre as espécies florestais de mais rápido crescimento nas regiões sudeste e sul do Brasil (Inoue *et al.* 1984).

No Bioma Mata Atlântica os estudos relacionados aos anéis de crescimento são recentes, provavelmente pela dificuldade em se delimitar e confirmar a existência de anéis de crescimento anuais em espécies tropicais, que até pouco tempo atrás, acreditava-se ser inexistentes. Inexistência esta, considerada consequência das estações climáticas pouco definidas nos trópicos (Rozendaal & Zuidema, 2011). No entanto Callado *et al.* (2001), estudando espécies da Floresta Atlântica observou que diversas espécies expressam a periodicidade anual de crescimento e ressaltam o potencial para se desenvolver este tipo de pesquisa neste bioma. Os autores relacionam a formação dos anéis ao fotoperíodo, regime de inundação, e também a perda das folhas, e ressaltam a importância destes estudos para o Bioma.

O maior ou menor crescimento radial das árvores depende da atividade do câmbio vascular, que poderá ser influenciado diretamente por fatores ambientais como precipitação, fotoperíodo e temperatura, que por sua vez exercem seus efeitos nos processos fisiológicos e metabólicos, e também por fatores endógenos que controlam os ritmos de crescimento (Fahn *et al.* 1981; Philipson *et al.* 1971; Iqbal & Ghouse 1987).

Segundo Schweingruber (1988) a descoberta do câmbio vascular ocorreu por volta do anos de 1850, e o conhecimento da sua estrutura e função é um pré-requisito para um completo entendimento do crescimento e do desenvolvimento das árvores ( Philipson *et al.* 1971; Iqbal & Ghouse 1987; Catesson 1994; Larson 1994).

Responsável pelo crescimento em espessura das árvores e conhecido comumente como meristema lateral, o câmbio vascular apresenta sua origem no procâmbio e da desdiferenciação de células parenquimáticas do periciclo e parênquima, é ele o responsável formação de xilema e floema secundário, que apresentam uma grande importância econômica, em virtude de seus numerosos usos (Lachaud et al. 1999 ).

As árvores das florestas tropicais têm o seu ritmo de crescimento em altura e em diâmetro do tronco sua fenologia e todos os demais processos morfofisiológicos interagindo com as condições ecológicas do sítio em que ocorrem (Salisbury; Ross, 1994). Entretanto, a inibição do processo de crescimento irá depender da duração e intensidade de eventos ocorrentes no ambiente, assim como o estágio de desenvolvimento da planta ou do ecossistema no qual ela está inserida (Kozłowski et al. 1991).

As árvores, são registros perfeitos na caracterização de fatores bióticos e abióticos uma vez que as plantas são dependentes destes para a sua formação. Algumas espécies vegetais possuem uma sensibilidade maior ou menor ao ambiente, que se expressa na formação dos anéis de crescimento, permitindo que alterações de fatores como temperatura, umidade e radiação solar, fiquem registrados na anatomia da madeira dos indivíduos (Gonçalves, 2007). Além de responderem à estes fatores, as árvores também podem responder à fenômenos climáticos em larga escala, como por exemplo, o El Niño e La Niña (Callado & Guimarães, 2010; Rozendaal & Zuidema, 2011).

Através da análise do crescimento das árvores é possível modelar a produtividade dos povoamentos e prescrever intervenções precisas para as florestas, visando obter o máximo rendimento (Brandelero et al. 2007). Além disso, admite-se a realização de estudos de auto-ecologia, avaliação ou resposta de atividades silviculturais e de reconstrução de eventos climáticos (Correa, 2003). Segundo Fritts (1976) e Corona (1986), a dendrocronologia apresenta aplicação em múltiplos eventos ambientais, estudados pelas disciplinas de dendroclimatologia, dendroecologia, dendroclimatografia, dendroquímica, dendrohidrologia, dendrogeomorfologia, dendrosismologia, dendroglaciologia, dendroarqueologia, entre outras, consideradas as mais exploradas pelo campo científico.

Este estudo, do ponto de vista ecológico é uma essencial ferramenta na obtenção de informações na dinâmica de crescimento desta importante espécie, amplamente utilizada em projetos de recuperação e restauração de áreas degradadas, além deste corroborar com a literatura científica, na desmistificação da inexistência de sazonalidade em espécies de ambientes tropicais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Este projeto tem como objetivo principal gerar conhecimentos sobre a dinâmica de crescimento *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake em um Remanescente Florestal da Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar se existe um padrão no crescimento;
- Verificar se as séries são sincronizáveis;
- Construir a cronologia dos anéis de crescimento para guapuruvu;
- Avaliar a relação da precipitação no incremento médio anual das árvores visando o entendimento da dinâmica de crescimento da espécie.

## 3. REVISÃO DE LIETERATURA

### 3.1 *Schizolobium parahyba*

O *Schizolobium parahyba* (Vellozo) S. F. Blake, conhecido popularmente como Guapuruvu pertence à família Fabaceae. É uma espécie pioneira, decídua, cuja altura pode atingir entre 10 a 40 m e diâmetro 30 a 120 cm, na idade adulta. É uma espécie arbórea de rápido crescimento, é por isso muito utilizada em projetos de reflorestamento em essências nativas (Carvalho 1994).

É de ocorrência natural nos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e extremo litoral nordeste do Rio Grande do Sul (figura 1). O Guapuruvu, além de ocorrer na floresta primária, é comum na vegetação secundária, dominando as capoeiras altas e florestas secundárias, podendo formar agrupamentos densos em grandes clareiras florestais, sendo raro na floresta alta e densa (Carvalho 2005).



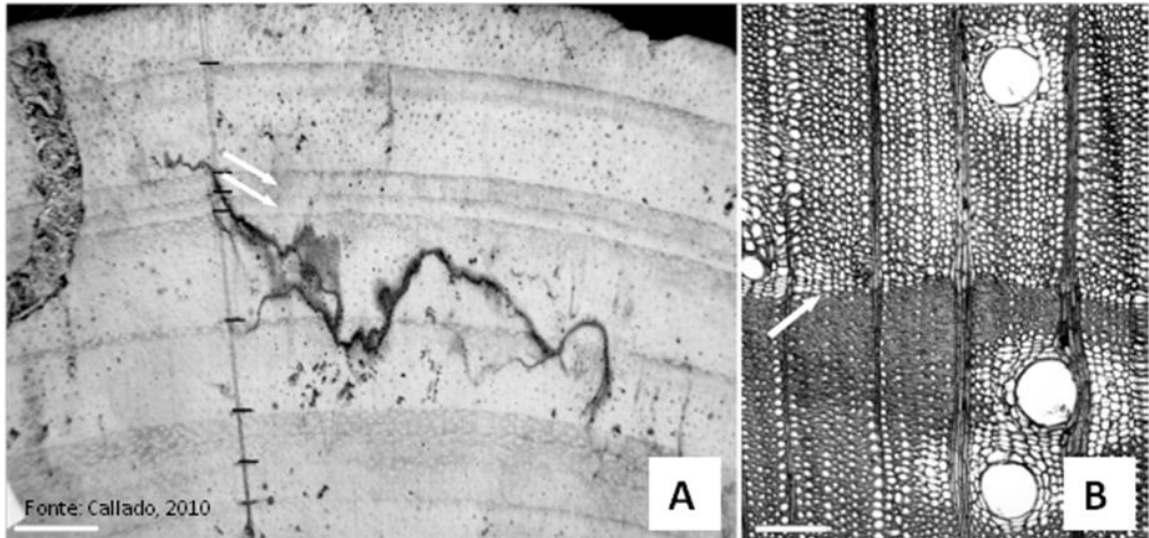
**Figura 1.** Locais de ocorrência natural de *S. parahyba* no Brasil.

Apresenta floração entre os meses de julho a novembro, no Estado de São Paulo; de agosto a novembro, no Estado do Rio de Janeiro; de setembro a outubro, em Minas Gerais; de setembro a dezembro, no Paraná; de outubro a dezembro, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul (Carvalho, 1976). Contudo tem sua atividade cambial reduzida no início da estação seca, coincidindo com a queda de folhas sendo o crescimento e brotamento da folha no início da estação chuvosa ( Marcati et al. 2008).

A precipitação pluvial média anual favorável para a espécie vai desde 1.100 mm, no Estado do Rio de Janeiro a 2.400 mm, no Estado de São Paulo (Carvalho 2005).

Quanto às características de sua madeira, possui massa específica básica de 0,24 a 0,27 g.cm<sup>-3</sup> (Andrade & Carvalho, 1998). Devido a baixa densidade e as altas taxas de crescimento radial (Ferreira 2002, Lisi et al. 2008, Marcati et al. 2008), os caiçaras tinham por hábito plantar árvores dessa espécie para confecção de canoas para pesca (Santos et al. 2009). A madeira do Guapuruvu pode ser empregada para diversos fins, tais como: miolo de painéis compensados; confecção de portas; brinquedos; saltos para calçados; embalagens leves; aeromodelismo; pranchetas; embalagem de frutas; palitos para fósforos e lápis; forro, tabuado e obras internas.

Em relação às características anatômicas, o *Schizolobium parahyba* apresenta periodicidade anual de crescimento e anéis de crescimento distintos (Mainieri & Chimelo 1989, Tomazello Filho et al. 2004, Lisi et al. 2008, Marcati et al. 2008), evidenciados por achatamento radial das fibras e maior espessamento de suas paredes no lenho tardio e pela presença de parênquima em faixa marginal, com uma a três células de largura (Callado & Guimarães, 2010).



**Figura 2.** Sessões transversais do lenho de *S. parahyba*. (A) Anéis de crescimento largos e anéis de crescimento mais estreitos indicados pela setas. (B) Limite do anel de crescimento indicado pela seta. (fonte: Callado & Guimarães, 2010)

De acordo com Marcati et al. (2008), quando há aumento ou diminuição da atividade cambial, os elementos de vaso são as primeiras estruturas anatômicas a sofrerem diferenciação. No lenho inicial são encontrados vasos de diâmetro maior e fibras de paredes finas formadas durante a atividade mais elevada do câmbio. Enquanto no lenho tardio os elementos de vasos apresentam-se menores e as paredes das fibras espessas e radialmente achatadas formadas no período de baixa atividade cambial.

Os anéis de crescimento anuais constituem verdadeiros bancos de dados naturais que podem armazenar informações ecológicas e históricas (Kozlowski et al. 1991, Kitzberger et al. 2000). Isso porque, o câmbio, tecido gerador das novas células de xilema e floema secundários, é considerado um sensor dos estímulos ambientais que afetam funções fisiológicas nas plantas (Callado et al. 2010). O câmbio responde às variações do ambiente que são expressas na estrutura dos anéis de crescimento (Schweingruber 1988, Kozlowski et al. 1991, Rubino & McCarthy 2004).



### 3.2 Dendrocronologia

A dendrocronologia é comumente definida como a ciência que estuda os anéis de crescimento e seu tempo de formação, e a relação destes com o meio ambiente (Jimenez, 2011). Os estudos dendrocronológicos tiveram início no século de XVI, com Leonardo Da Vinci. No entanto somente no início do século XX, a dendrocronologia se consolida como ciência, devido, principalmente as contribuições de Andrew E. Douglass, pioneiro no desenvolvimento de metodologias para a avaliação das relações existentes entre as séries temporais dos anéis de crescimento com os fenômenos climáticos e astronômicos (datação cruzada) e a datação de madeiras arqueológicas (Fritts 1976; Schweingruber 1988).

O princípio mais importante desta ciência é a datação cruzada ou crossdating, onde é observada a correspondência entre as larguras dos anéis de crescimento de árvores, no mesmo local, sob as mesmas condições ambientais, assumindo que os fatores ambientais afetam o crescimento das árvores em um local de forma semelhante (Jimenez, 2011).

Brown (2003), diz que as árvores que se desenvolveram em condições de clima e de solo, semelhantes ao longo de um período de anos devem apresentar sincronismo na variação da largura dos anéis de crescimento, permitindo a datação cruzada. A datação cruzada do lenho de árvore permite determinar o ano de formação dos anéis de crescimento, coincidindo-os com os anos do calendário. Dessa forma torna-se possível datar outras amostras de madeira, desde que corresponda a alguma série de idade conhecida.

A formação dos anéis de crescimento estão relacionados a sensibilidade que as espécies vegetais possuem as variações que ocorre no ambiente permitindo que alterações de temperatura, umidade, radiação solar, entre outros, fiquem registrados na anatomia da madeira dos indivíduos. A partir da análise dos anéis de crescimento é possível conhecer a idade da árvore e a relação desta com o ambiente, sendo esta análise considerada um dos melhores métodos para o conhecimento das mudanças que ocorrem no ambiente (Worbes 1999), podendo revelar as condições climáticas do passado e do presente (Trouet et al. 2001), e têm sido fonte de informação valiosa no que diz respeito as mudanças climáticas (Fritts 1965).

A pesquisa através da análise dos anéis de crescimento no hemisfério Norte, em regiões temperadas, já é bastante utilizada para diversos estudos, merecendo destaque os estudos ecológicos. Entretanto em regiões tropicais estes estudos são mais recentes, provavelmente pela dificuldade em se delimitar e confirmar a existência de anéis de crescimento anuais em espécies tropicais, que até pouco tempo atrás, acreditava-se ser inexistentes.

Durante muito tempo a ausência de anéis de crescimento anuais era considerada consequência das estações climáticas pouco definidas nos trópicos (Rozendaal & Zuidema, 2011). Worbes (2002), também atribui os poucos estudos relacionados à dendrocronologia no hemisfério sul à suposição da ausência de anéis anuais em árvores tropicais.

No entanto estudos tem revelado a presença de anéis de crescimento anuais em diversas espécies tropicais, como por exemplo Callado et al. (2001a; 2001b), estudando espécies da Floresta Atlântica detectaram a presença de anéis de crescimento distintos em 14 das 17 espécies estudadas. Em algumas espécies os autores relacionam a formação das zonas de crescimento distintas à perda das folhas, ao foto período, a regimes de inundação e aos ritmos endógenos além disso notam que a periodicidade de crescimento é anual.

E estes anéis de crescimento não são relacionados somente a fatores climáticos como precipitação e temperatura, mas também a vários outros fatores ambientais sazonais, genéticos e endógenos, como por exemplo espécies que vivem nas margens dos igarapés na Amazônia, algumas espécies de regiões inundáveis da Floresta Atlântica e espécies decíduas (Callado et al. 2001a, 2001b; Worbes 1989). Estes estudos acima citados tem estimulado o interesse em pesquisar a formação anual dos anéis de crescimento em espécies tropicais.

Na floresta Atlântica, pesquisas que versam sobre a ocorrência e periodicidade da formação de anéis de crescimento abrangem diferentes tipologias do bioma como: Floresta Ombrófila Densa (Callado et al. 2001), Floresta Estacional Semi-decidual (Tomazello-Filho et al. 2004), Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista (Oliveira et al. 2007).

Apesar de vários autores terem comprovado que determinadas espécies tropicais formam anéis de crescimento anuais e podem, assim como espécies de clima temperado, serem utilizadas para a construção de cronologias válidas, a presença de falsos anéis ou anéis ausentes ainda prejudica imensamente a continuidade de muitos estudos. Palermo et al. (2002) diz que para determinadas espécies de regiões tropicais, assim como em regiões temperadas, existe dificuldade de se determinar com exatidão a idade das árvores através dos anéis de crescimento, pois muitas vezes, esses anéis são indistintos, e mesmo quando aparentes podem não expressar a idade real da árvore.

Segundo Heinrich (2004) a resposta do lenho das árvores a fatores extremos ocorrentes na como, estresse hídrico, desfolhação e incêndios, poderá induzir a formação de falsos anéis de crescimento (quando forma mais de um anel por período vegetativo), anéis descontínuos (que não formam um círculo completo em torno da medula).

Falsos anéis também podem surgir da perda temporária da folhagem causada por geadas tardias, ataques por patógenos, ou por estímulo de crescimento fora de época, devido às condições favoráveis tais como disponibilidade de nutrientes, ou eliminação de concorrentes.

Segundo Brandes (2007), eventos importantes e respectivas publicações como Iawa Committe (1989) e Iawa Committe (1999) podem ser destacados como propulsores de pesquisas com anéis de crescimento em florestas tropicais, pois essas publicações tratam dos anéis e da periodicidade de crescimento, discutem os métodos empregados e destacam os problemas para desenvolvimento de pesquisas nesta área.

O desenvolvimento de cronologias dos anéis de árvores em florestas tropicais tem importância significativa para os benefícios de ecologia florestal, climatologia e manejo florestal (Stahle, 1999). O ramo da dendrocronologia possui diversas aplicações como a dendroecologia, dendrogeomorfologia, dendroclimatologia, entre outras.

A dendroecologia tem como objetivo determinar a relação que ocorre, ano após ano, entre o clima, as condições do sítio e o crescimento das árvores para avaliar os fatores exógenos e endógenos que influenciam o desenvolvimento da comunidade vegetal (Schweingruber, 1986). Embora o campo da dendroecologia tropical seja relativamente novo, estudos recentes têm fornecido informações ecológicas interessantes que são relevantes para a compreensão da dinâmica de espécies arbóreas ameaçadas de extinção (Rozendaal e Zuidema 2010).

A dendrogeomorfologia pode ser usado na interpretação e análise de diferentes tipos de processos erosivos, tais como, deslizamentos de encostas, desabamentos, avalanches de neve, avalanches de rocha. Um método utilizado para determinar taxas de erosão por exemplo, é o estudo de raízes expostas a variação climática do local que baseia-se na mudança que ocorre no padrão de crescimento do anel (Lamarche 1968; Danzer 1996; Carrara e Carroll 1979).

Alterações nas características anatómicas da madeira causada por lenta ou súbita exposição às mudanças de temperatura e umidade ganharam reconhecimento como uma ferramenta útil em dendrogeomorfologia (Gartner et al 2003, 2001; Gartner, 2006).

Estas mudanças graduais que ocorrem na anatomia da madeira são utilizadas para avaliar níveis de superfície de erosão do solo (Bodoque et al. 2005; Perez et al. 2007; Rubiales et al. 2008; Buchwal 2008). As alterações anatómicas específicas em raízes expostas são comumente conhecidas sobretudo em árvores de coníferas. Segundo Gartner et al. (2001) ocorre uma redução no tamanho das células no lenho inicial para cerca de 50% em relação ao tamanho da célula antes da exposição.

De acordo Gartner et al. (2001), quando uma raiz perde a sua cobertura edáfica de forma contínua e progressiva, uma série de alterações anatômicas ocorrem, devido tanto aos efeitos da exposição (por exemplo, variações de temperatura, diminuição da pressão de cobertura do solo, incidência de luz, etc) quanto ao estresse mecânico que a raiz sofre quando é exposta. Na verdade, é a caracterização das mudanças que ocorrem na estrutura microscópica da raiz (por exemplo, a largura dos anéis de crescimento, o número de células por anel, percentual de lenho tardio, diâmetro do lúmen celular no lenho inicial), que permite que o primeiro ano de exposição seja determinado com precisão.



Fonte: Gartner, 2007

A influência do solo e os fatores topográficos no crescimento das árvores têm sido bem documentados em muitas regiões na América do Norte (Coley 1952). Embora muitos estudos tenham demonstrado a importância dos nutrientes no crescimento das árvores, como por exemplo em *Quercus* na Pensilvânia que mostrou maior desenvolvimento em locais com alto Ca, Mg, e Nitrogênio total (Bowersox & Ward 1972), em *Pinus resinosa* em Minnesota o crescimento foi correlacionado com os aumentos de N e K (Alban 1974), pouca informação existe na literatura corrente sobre os efeitos dos nutrientes no crescimento. Entretanto, alguns estudos mostram que a variação dos fatores edáficos influencia no crescimento de espécies (Harper 1940, Einspahr & Mc Comb 1951; Countryman & Thomson 1969).

A dendroclimatologia baseia-se na extração dos registros das variáveis climáticas gravadas nos anéis de crescimento (Trovati, 1984). Segundo o mesmo autor, as inter-relações entre os anéis de crescimento e o clima têm sido estudadas principalmente à luz das variações de largura e densidade que ocorrem nos anéis, de um ano para outro.

Nos últimos anos, estudos de anéis de árvores estão sendo usados para determinar ou verificar fatores climáticos que prevalecem em um dado lugar ou região que pode causar variações na dinâmica de crescimento das árvores ( Raspopov et al. 2004). Segundo Rozendaal et al. (2010) as taxas de crescimento em algumas espécies de árvores bolivianas têm aumentado ao longo do último século, talvez como resultado de alterações climáticas.

A análise dendroclimatológica pode fornecer importantes informações paleoclimáticas, fornecendo subsídios para o estudo das mudanças ambientais. A falta de pesquisas nas regiões tropicais e subtropicais cria uma demanda para aplicação dos anéis de crescimento anuais na avaliação de mudanças climáticas, por exemplo, verificar a frequência do El Niño, que representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, alterando as condições climáticas de todo continente sul americano.

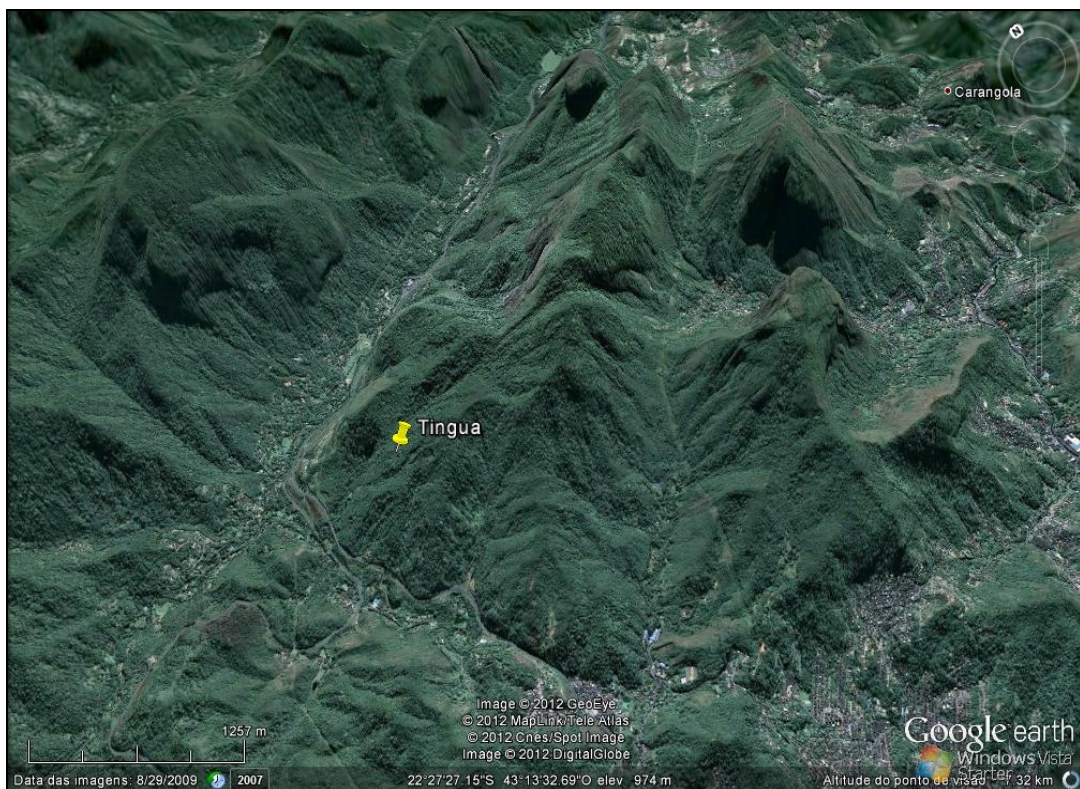
As alterações provocadas pelo El Niño resultam em mudanças drásticas na direção e velocidade dos ventos, com alterações no comportamento de massas de ar em várias regiões, por 12 a 18 meses e em intervalos de 2 a 7 anos, provocando secas prolongadas nas regiões norte e nordeste do Brasil e aumento das chuvas no Sul do Brasil (INPE, 2013; Fearnside, 2006). Segundo Nobre et al. (2007) e INPE (2013), o aumento da frequência/intensidade do El Niño tem sido registrado (1982/1983, 1990/1993, 1997/1998).

Callado & Guimarães (2010), em estudo de mortalidade do guapuruvu na Ilha Grande, observou, taxas elevadas de crescimento no período que precede a morte dos indivíduos estudados, período este com maiores índices pluviométricos, sob influência do evento *La Niña*. De acordo com Stokes & Smiley (1996 ) e Enquist & Leffer (2001), a precipitação é o principal fator que atua na largura dos anéis. Esses apresentam-se mais largos nos anos mais chuvosos e mais estreitos nos mais secos. Portanto é necessário verificar a relação do El Niño e La Niña com a mudança dos ciclos e/ou com aquecimento global utilizando-se os anéis de crescimento das árvores como parâmetro indireto para detecção desses eventos climáticos.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

As amostras para realização deste estudo foram obtidas na Reserva Biológica do Tinguá, uma Unidade de Conservação Ambiental administrada pelo IBAMA Criada em 23 de maio de 1989 pelo Decreto 97.780 e localizada no Município de Nova Iguaçu, a 70 km da cidade do Rio de Janeiro. Possui coordenadas geográficas 22°28'00" a 22°39'00"S e 43°13'00" a 43°34'00"O (Figura 3). A ReBio apresenta uma área de aproximadamente de 26.000 ha de Floresta Atlântica. O clima é do tipo Cwb (Köppen), que corresponde ao tropical de altitude com verões frescos e chuvas típicas da estação, sendo que nos pontos mais altos a estação seca é pouco pronunciada, com temperatura média anual variando entre 13°C a 23°C e pluviosidade média variando de 1500mm a 2600mm, com regime de distribuição periódica (IBAMA, 2006). Com predomínio de Floresta Ombrófila Densa, a área do entorno da Reserva Biologica do Tinguá é caracterizada de acordo com IBAMA (2006), basicamente por sete classes de solos (I) Latossolo Vermelho-Escuro álico; (II) Latossolo Vermelho-Amarelo álico; (III) Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico; (IV) Luvisolos; (V) Planossolos; (VI) Neossolos Flúvicos Distróficos; (VII) Neossolos Flúvicos Eutróficos.

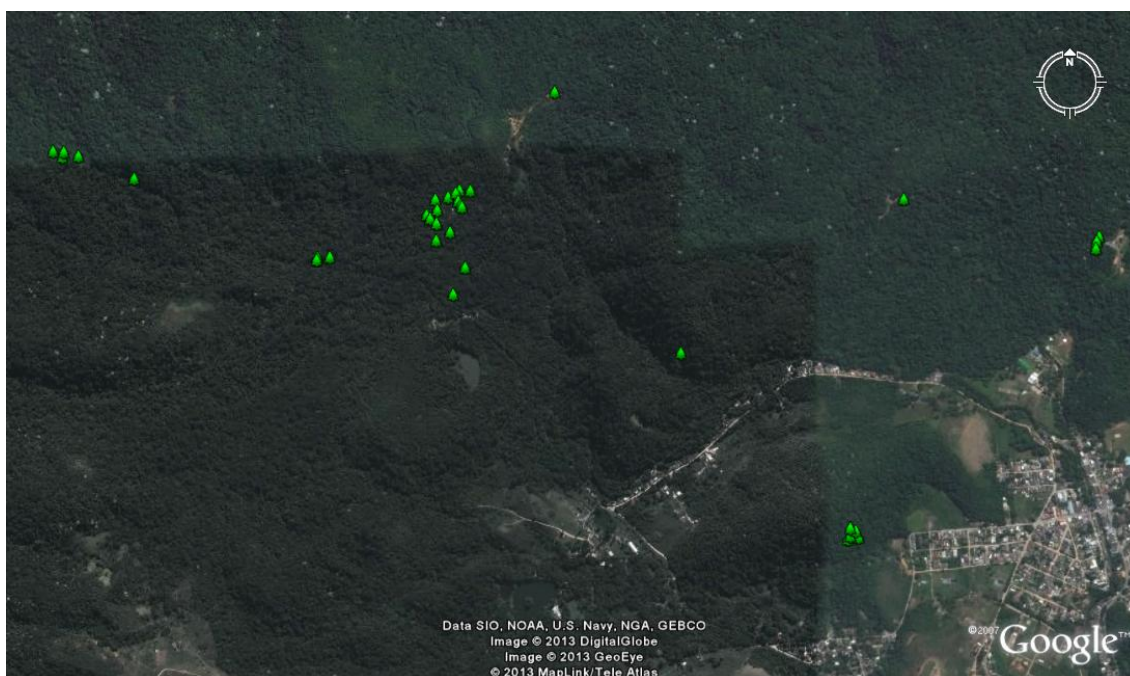


**Figura 3.** Área de coleta – Localização da Reserva Biológica do Tinguá - RJ.

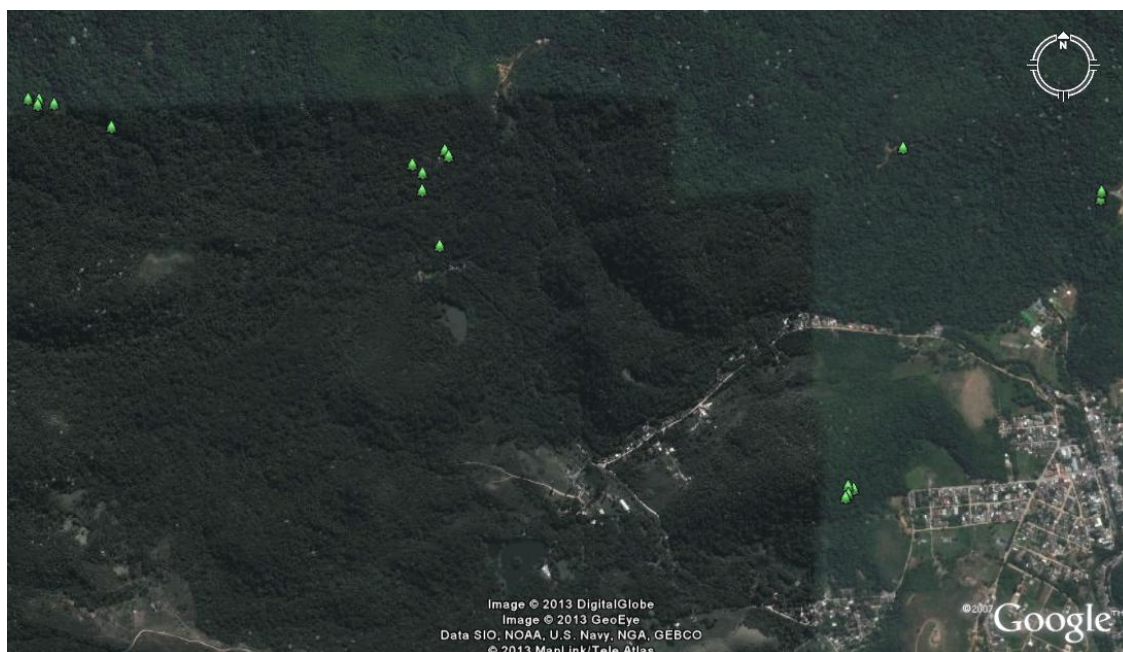


## 4.2. Coleta e preparo das amostras

Para a coleta das amostras utilizadas nas análises dendrocronológicas foram selecionadas 30 árvores de Guapuruvu que foram georeferenciadas (figura 4), considerando os aspectos de fitossanidade. No entanto para construção da cronologia apenas 18 árvores foram utilizadas (figura 5). Todos os indivíduos foram demarcados com auxílio do GPS Garmin, modelo: serie e Trex HCx V Ista. Foram mensurados os dados dendrométricos (altura, diâmetro), apresentados na tabela 1. Em cada árvore foram retiradas 4 amostras radiais no sentido casca-medula, através do método não destrutivo – Trado de incremento (Sonda de Pressler). Nesse método retira-se cilindros (“bagaetas”) de madeira das árvores vivas, com um trado de aço (5 mm de diâmetro) através de uma incisão no tronco a 1,30 m de altura em relação ao solo (DAP- diâmetro da altura do peito), (Figura 6). A coleta do material de estudo ocorreu no mês Julho de 2012.



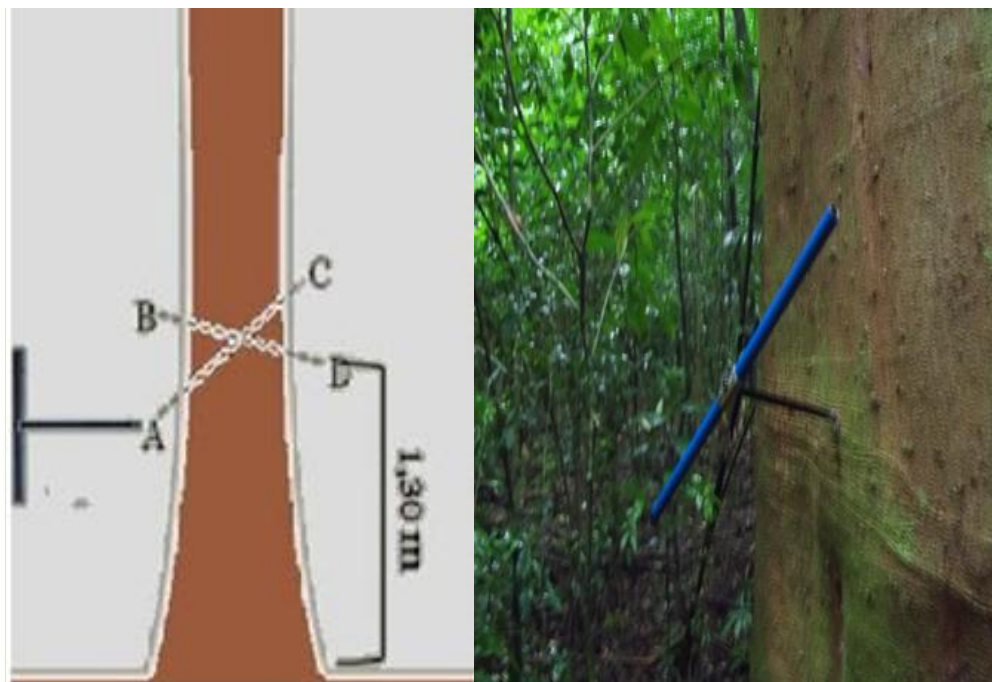
**Figura 4.** Área de coleta – ReBio Tinguá , os pontos em verde claro indicam as 30 árvores coletadas.



**Figura 5.** Área de coleta – ReBio Tinguá , os pontos em verde claro indicam as 18 árvores utilizadas para construir a cronologia.

**Tabela 1.** Diâmetros e alturas das árvores selecionadas na ReBio do Tinguá.

Árvore	DAP (cm)	Altura (m)	Árvore	DAP (cm)	Altura (m)
1	91	28	16	92	28
2	89	20	17	94	28
3	20	26	18	95	18
4	70	25	19	62	25
5	60	30	20	81	20
6	57	23	21	70	25
7	95	25	22	64	26
8	80	20	23	88	26
9	75	28	24	51	22
10	68	25	25	67	20
11	95	25	26	46	19
12	86	28	27	68	30
13	62	22	28	47	20
14	86	25	29	45	22
15	57	25	30	50	18



**Figura 6.** Retirada das amostras do lenho de *Schizolobium parahyba* com Trado de Incremento.

Após a retirada das amostras, estas foram colocadas em canudos (figura 7), para evitar a danificação das amostras e facilitar o transporte. Em seguida estas foram devidamente identificadas com o número correspondente a cada árvore de onde esta foi extraída, e uma letra que determina o raio do qual é proveniente por exemplo: A1R1 (árvore 1 e raio1).



**Figura 7.** Identificação das sessões radiais retiradas do lenho do *Schizolobium parahyba*.



### 4.3 Análises dendrocronológicas

#### 4.3.1 Delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento

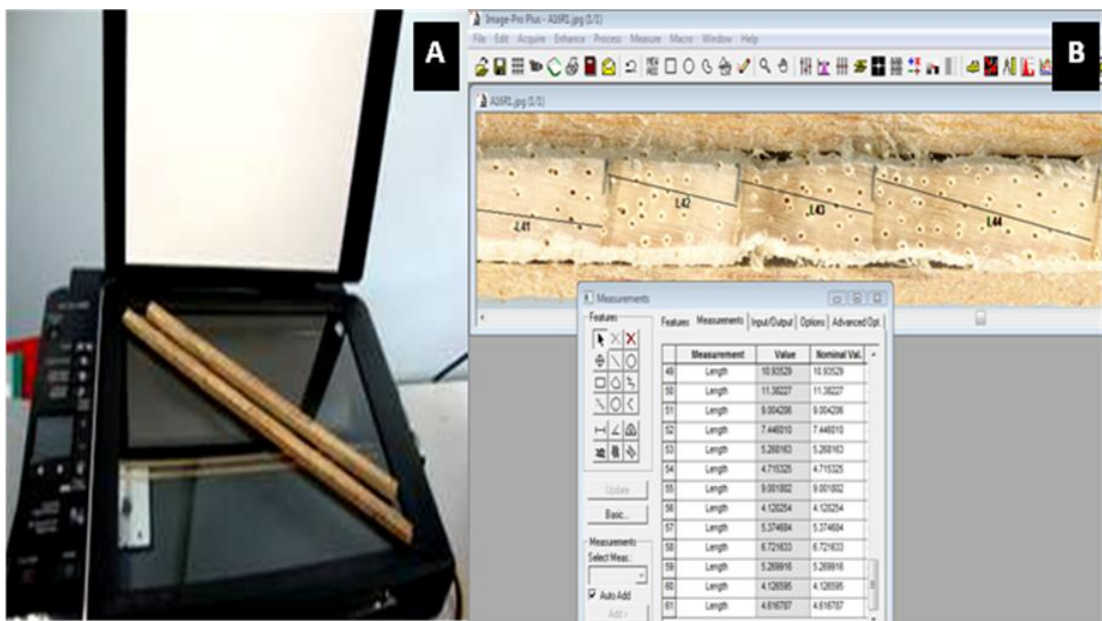
As amostras foram secas em temperatura ambiente, amarradas em suporte de madeira, para evitar o empenamento, e em seguida as sessões radiais de cada árvore foram coladas em suportes de madeira, fixadas por barbante (figura 8), e polidas com uma sequência de lixas (80-600 grãos por cm<sup>2</sup>) para destacar o plano transversal do lenho (figura 9). A identificação e delimitação dos anéis de crescimento foram feitas com auxílio do microscópio e posteriormente as amostras foram digitalizadas com resolução de 1200 dpi em Scanner (Epson Scan), (figura 10A). Para mensuração da largura dos anéis de crescimento de todos os raios, utilizou-se o software de análise de imagens, Image Pro-Plus (Copyright © 1993-2001 Media Cybernetics, Inc.), (Figura 10B).



**Figura 8.** Sessões radiais do lenho *Schizolobium parahyba* coladas em suportes de madeira.



**Figura 9.** Sessões transversais do lenho de *Schizolobium parahyba* lixadas e polidas.



**Figura 10.** Digitalização das amostras em scanner Epson Scan (A) e medição dos anéis de crescimento através do software Image Pro-Plus (B).

### 4.3.2 Sincronização dos anéis de crescimento

Os dados de larguras dos anéis obtidos no software Image Pro-plus foram exportados para o Excel e salvos em formato tucson, onde posteriormente foi interpretado pelo programa estatístico *COFECHA (Version 6.00p)*, desenvolvido por Holmes (1983), o qual realiza um controle de qualidade e verifica a sincronização das séries de larguras dos anéis de crescimento, inicialmente entre os quatro raios da mesma árvore e posteriormente entre árvores.

Para verificar a datação cruzada o software COFECHA padroniza os dados de largura dos anéis de crescimento de duas formas, pela função “spline” ou pela média do indivíduo. O modelo mais usado na dendrocronologia é o ajuste dos dados de largura no anel através de uma função de remoção das tendências de crescimento das árvores, o “spline” cúbico, que tem como objetivo maximizar um sinal comum. Neste procedimento o valor de cada série é dividido por seu valor correspondente da curva “spline”. No entanto, neste estudo a função spline não se ajustou a maioria das árvores, sendo necessária a remoção do spline, e a cronologia foi construída através da media do individuo.

O COFECHA realiza testes de correlação pela sobreposição dos segmentos de cada série cronológica de anéis de crescimento, com a média construída com todas as demais cronologias (série “master”), excluindo a série que está sendo testada. Este procedimento verifica, estatisticamente, a datação realizada, identificando as amostras ou segmentos de amostras do lenho das árvores que apresentem problemas de demarcação ou mensuração dos anéis de crescimento, indicando a possível existência de anéis de crescimentos falsos ou ausentes.

Cada série cronológica de anéis de crescimento passou por uma estandarização, retirando-se as tendências de longo prazo de crescimento dos dados de largura dos anéis de crescimento, assumindo que essas são funções da idade das árvores e dos distúrbios endógenos e exógenos.

A remoção das tendências das séries dos anéis e a consequente estandarização foram realizadas através do ajuste de uma curva de baixa frequência, seguido da divisão do valor da largura dos anéis de crescimento pela curva ajustada. Assim, o sinal comum das séries foi maximizado, formando uma série “master” que representa as séries que a compõe. Dessa forma, o software calcula as correlações (Pearson) entre as séries individuais em relação à série “máster”.

### 4.3.3 Correlação das séries cronológicas

Através do programa ARSTAN (MRWE Application Framework Copyright © 1997-2004), uma curva foi ajustada aos dados de largura dos anéis de crescimento, e assim estimada a tendência de crescimento para o conjunto de árvores na forma de índices (HOLMES *et al.*, 1986). No programa ARSTAN, as séries cronológicas obtidas a partir dos valores de largura dos anéis de crescimento das árvores passam por um processo de remoção das tendências de crescimento que não sejam em função do clima e estandarização (padronização) das séries.

Após a estandarização dos valores das séries de árvores individualmente, estas tiveram uma função média calculada. Dessa forma, foram geradas três versões da cronologia, uma série arstan, uma residual e uma “standard” com o objetivo de maximizar o sinal comum e minimizar a quantidade de ruído. A remoção das tendências foi realizada segundo a metodologia utilizada por Fritts (1976), cujos dados foram transformados em índice de largura do anel de crescimento ( $I_t$ ):

$$I_t = \frac{R_t}{Q_t}$$

Onde:

$I_t$  - Índice de largura dos anéis de crescimento;

$R_t$  - Série de largura dos anéis de crescimento observados; e

$Q_t$  - Tendência de crescimento estimada .

A padronização tem dois objetivos: remover as tendências não climáticas, e permitir que os valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média. Este processo de padronização corrige a heterogeneidade da variância da largura do anel de crescimento.

#### 4.3.4 Obtenção de dados climáticos e correlações com o crescimento

A cronologia (índice) de anéis de crescimento construída para 18 árvores de guapuruvu, geradas pelo programa ARSTAN foram comparadas com os valores mensais de precipitação, através do programa STATISTICA 7.0. Foram realizadas análises de correlação de Pearson entre as cronologias produzidas e a precipitação anual (Janeiro-Dezembro), e a precipitação total de dezembro-janeiro-fevereiro (verão), de março-abril-maio (outono), junho-julho-agosto (inverno) e Setembro-outubro-novembro (primavera).

Devido a dificuldade em se obter os dados pluviométricos e meteorológicos na região do Tinguá, para obtenção da resposta climática no crescimento em diâmetro do tronco das árvores de guapuruvu, foram utilizados os dados pluviométricos de 43 anos (1966-2008), da estação do município de Bom Sucesso - RJ, localizada a 48,4 Km da ReBio do Tinguá, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para a variável temperatura não foi possível a obtenção dos dados consistentes, pois estes apresentavam muitas falhas.

#### 4.4. Crescimento radial do tronco das árvores

A partir da sincronização da largura dos anéis de crescimento dos indivíduos de Guapuruvu, foi realizado o estudo do crescimento em diâmetro das árvores, a partir da variável incremento diametral acumulado (IDA). O IDA foi calculado pela soma valores de largura dos anéis de crescimento de dois raios de cada indivíduo, para avaliar o comportamento de crescimento da espécie ao longo dos anos.

## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1. Sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento

De 30 árvores coletadas, num total de 120 raios, apenas 18 árvores e 46 raios foram utilizados para construção da cronologia, isto porque as 12 árvores restantes, apresentaram baixos valores de correlação entre as séries do mesmo indivíduo e com o conjunto de árvores, sendo descartadas, garantindo assim que a sincronização final atingisse o valor do nível crítico de significância.

O resultado das correlações para cada uma das 18 árvores analisadas apresentou altos valores (tabela 2), permitindo um bom ajuste entre as séries dos anéis de crescimento da mesma árvore, e posteriormente para o conjunto de árvores.

**Tabela 2.** Qualidade da sincronização das séries de largura dos anéis por árvore.

<i>S. parahyba</i>	Número de amostras	Numero de anéis	Intercorrelação das séries	Correlação crítica
Árvore 1	2	42	0,848	0,422
Árvore 2	2	37	0,836	0,422
Árvore 3	2	36	0,698	0,422
Árvore 4	2	28	0,823	0,422
Árvore 5	2	34	0,876	0,422
Árvore 7	4	46	0,846	0,422
Árvore 8	2	45	0,714	0,422
Árvore 9	3	42	0,870	0,422
Árvore 10	2	29	0,902	0,422
Árvore 11	4	41	0,790	0,422
Árvore 12	4	46	0,912	0,422
Árvore 13	2	34	0,805	0,422
Árvore 14	2	43	0,747	0,422
Árvore 16	2	65	0,835	0,422
Árvore 17	4	73	0,802	0,422
Árvore 25	1	-	-	0,422
Árvore 22	1	-	-	0,422
Árvore 29	2	33	0,798	0,422

Como resultado deste controle de qualidade das séries, construiu-se uma série cronológica geral, representativa para a região estudada. A cronologia geral apresentou intercorrelação de Pearson igual a 0,71. A correlação crítica para esta cronologia é 0,44 ao nível de significância de 99%, este valor é gerado pelo programa COFECHA. O período analisado foi de 1939 a 2011 (73 anos) e a sensibilidade média para a espécie foi de 0,42. Na literatura para que a espécie seja considerada sensível às variações ambientais, elas devem possuir valor igual ou superior a 0,40 (Fritz, 1976).

Esta datação cruzada com correlação altamente significativa aponta que características comuns observadas entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento representam a resposta da árvore a um padrão comum de crescimento.

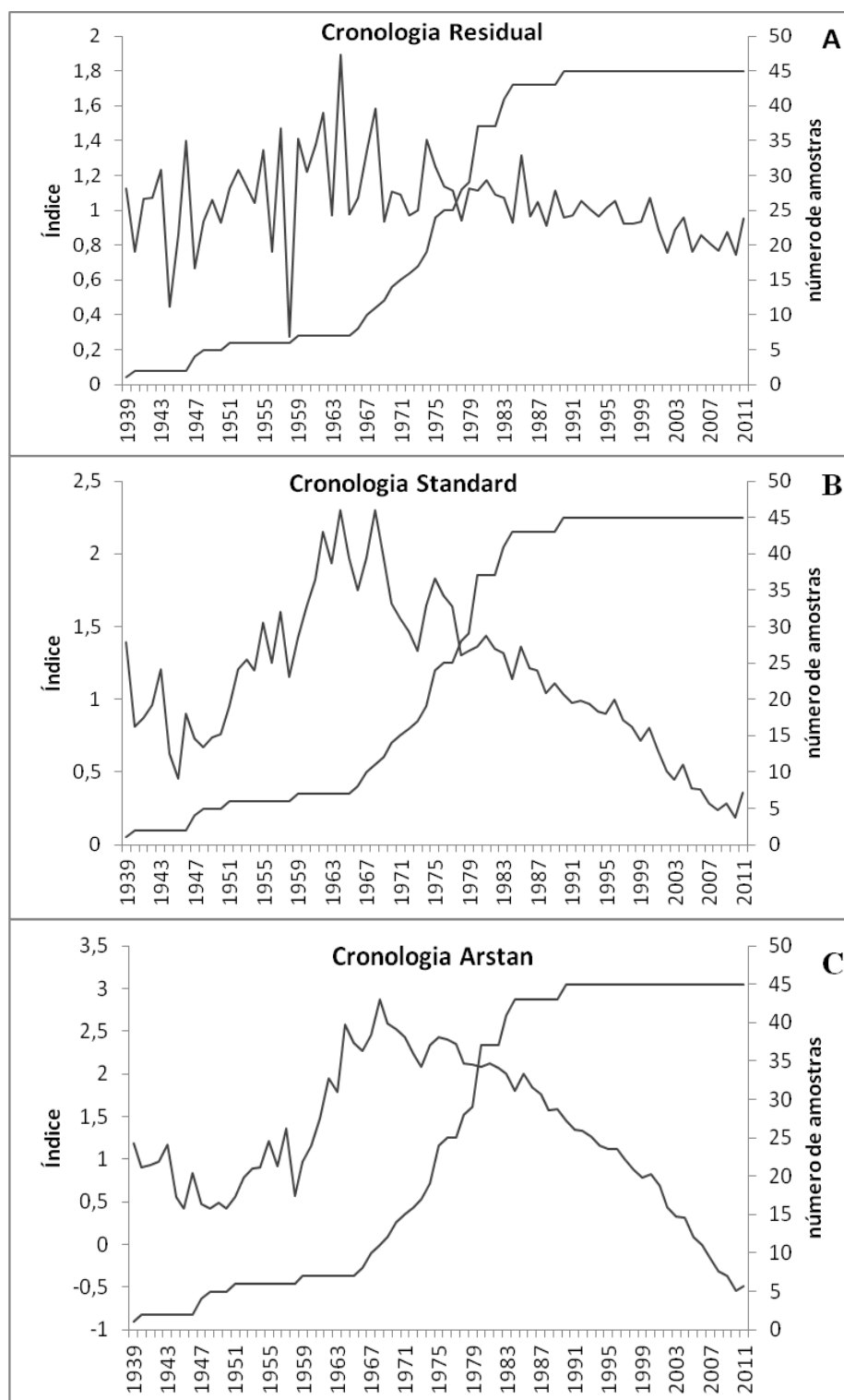
Após a sincronização realizada pelo COFECHA o software ARSTAN foi aplicado aos dados. Este produz a cronologia dos anéis de árvores padronizados e aplica uma estimativa robusta em função do valor médio para remover os efeitos de distúrbios endógenos. Três versões da cronologia foram produzidas, com o objetivo de conter um sinal comum e uma quantidade mínima de ruído.

Foram construídas duas cronologias empregando-se modelos matemáticos diferentes, a primeira usando a mesma curva de ajuste usada pelo programa COFECHA e na segunda foi utilizado o modelo matemático que se ajustou melhor aos dados. Na figura 13 e 14, são apresentadas as três cronologias geradas pelo Arstan e o número de amostras (séries) utilizadas para construção da cronologia. Esper et al. (2003) dizem que uma profundidade mínima da amostra para construção da cronologia deve ser de cinco séries para qualquer segmento da curva e que são necessárias 40 séries em algum momento ao longo da curva para se obter os melhores resultados. Neste estudo, o mínimo de amostras utilizadas para a construção da serie cronologica de *S. parahyba* foi de cinco séries nos primeiros anos chegando até 45 séries ao longo desta, o que demonstra a robustez da cronologia do guapuruvu.

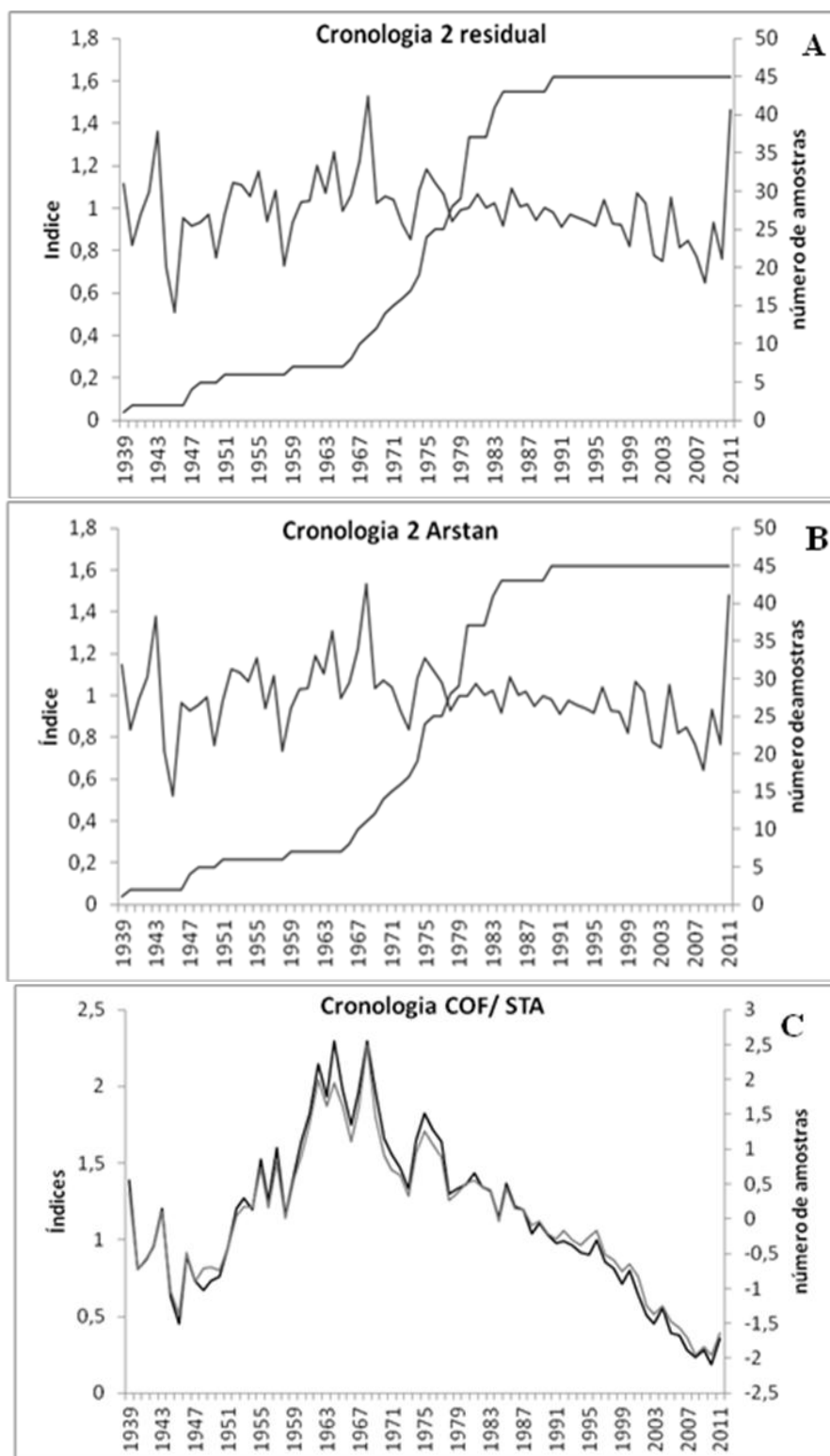
A cronologia standard (padrão) é uma média dos valores do índice do processo de normalização escolhido, esta cronologia ainda possui a autocorrelação incluída na cronologia final. A cronologia residual teve a autocorrelação retirada da série, tornando-se uma cronologia mais adequada para a análise de regressão, mas não necessariamente mais sensível ao sinal de interesse. A cronologia arstan foi calculada através da remoção da autocorrelação, modelada e reintroduziu-se a autocorrelação da cronologia standard (Speer, 2010).

A autocorrelação existente nas séries cronológicas do guapuruvu deve-se provavelmente ao “pulso” de crescimento observado nas cronologias standard e arstan. Como na cronologia residual esta autocorrelação é removida, a cronologia apresenta-se de forma mais linear. Este pulso de crescimento é um sinal de baixa frequência, que neste estudo foi importante para a datação cruzada.

De acordo com Fritz (1976) o sinal de baixa frequência ocorre devido a influencia de variações a longo prazo na largura do anel e pode surgir a partir de alterações na estrutura de árvore e do ambiente, incluindo variações a longo prazo do clima, aumento da idade na sucessão na comunidade florestal, mudanças geológicas. Além disso o autor comenta que ciclos de crescimento a longo prazo, variações na largura do anel que perduram por vários anos ou décadas ou tendências nos dados afetam a autocorrelação. Brien et al. (2006) dizem que o crescimento de uma árvore em um ano pode estar correlacionado com o crescimento do ano subsequente, e que esta autocorrelação no crescimento de árvores foi encontrado para diversas espécies arbóreas tropicais.



**Figura 11.** Séries Cronológicas do índice de largura dos anéis de crescimento do lenho de *S. parahyba* geradas pelo ARSTAN. (A) cronologia residual, (B) cronologia standard e (c) cronologia arstan.



**Figura 12.** Séries Cronológicas 2 do índice de largura dos anéis de crescimento do lenho de *S. parahyba* geradas pelo Arstan. (A) cronologia Residual, (B) cronologia Arstan e (c) cronologia gerada pelo COFECHA com cronologia Standard gerada pelo Arstan.



O lenho do *Schizolobium parahyba* apresenta uma sequencia de anéis de crescimento estreitos no início do crescimento, com posterior aumento na largura e finalizado com novamente o estreitamento dos anéis próximo a casca. Estas características nas dimensões dos anéis podem estar relacionadas a sensibilidade da espécie as condicionantes ambientais climáticas e também aos fatores de crescimento que a espécie apresenta na Rebio do Tinguá.

Além de serem influenciadas pelas chuvas e pela temperatura, as árvores também podem responder a eventos em maior escala, como o El Niño (Therrell et al. 2006; Gebrekirstos et al. 2008). Na cronologia construída para o guapuruvu observou-se a formação de um anel de crescimento estreito, coincidindo com o período de forte intensidade de ocorrência do evento El Niño. De acordo com informações obtidas no Instituto Nacional de pesquisa espacial (INPE, 2013), o fenômeno El Niño provocou diminuição das chuvas na região Norte, na região Nordeste houve intensificação da seca; no Centro-oeste temperaturas mais altas com diminuição das chuvas; aumento das chuvas na região Sul e na região sudeste houve elevação da temperatura e aumento das chuvas para algumas áreas. Callado & Guimarães (2010) verificaram em estudo da mortalidade de Guapuruvu na Ilha grande, que os anéis de crescimento estreitos foram formados sob influência deste mesmo evento.

## 5.2. Correlação entre o índice do anel de crescimento vs precipitação

A correlação entre a cronologia dos anéis de crescimento do lenho das árvores de guapuruvu, obtidas pelo Arstan e a variável climática (precipitação) para 43 anos são apresentadas na tabela 3.

**Tabela 3.** Correlação da cronologia de *Schizolobium parahyba* com a precipitação.

Cronologia	ANO	CR P	CR	PRI P	VER P	OUT P	INV P	PRI	VER	OUT	INV
<b>Cofecha</b>	0,13	0,05	0,07	0,08	-0,11	0,02	0,37*	0,16	0,02	0,08	0,49*
<b>Standard</b>	0,14	0,06	0,11	0,10	-0,11	0,02	0,39*	0,20	0,02	0,07	0,49*
<b>Residual</b>	0,02	0,00	0,02	0,05	-0,08	0,00	0,18	-0,01	0,08	0,03	0,34*
<b>Arstan</b>	0,15	0,11	0,13	0,15	-0,12	0,05	0,45*	0,20	0,04	0,14	0,51*
<b>Residual 2</b>	0,05	-0,04	0,03	-0,06	-0,08	0,00	0,23	-0,03	0,15	0,09	0,33*
<b>Arstan 2</b>	0,05	-0,05	0,01	-0,06	-0,08	0,00	0,23	-0,04	0,14	0,08	0,33*

\*Correlações significativas ( $p > 0,05$ ). (CR P) crescimento prévio, (CR) crescimento, (PRI P) primavera prévia, (VER P) verão prévio, (OUT P) outono prévio, (INV P) inverno prévio, (PRI) primavera, (VER) verão, (OUT) outono, (INV) inverno.

Os coeficientes de correlação significativos das cronologias com a precipitação foram, em geral, observados para os meses de inverno, tanto para o crescimento do ano prévio, quanto para o inverno do ano de crescimento. Diante disso pode-se dizer que a precipitação age como fator determinante no crescimento em diâmetro das árvores de guapuruvu, representados pela variação da largura dos anéis em função do aumento ou diminuição da atividade do câmbio. Para a precipitação mensal apresentada na tabela 4, observa-se que além dos meses de junho e julho, correspondentes á estação do inverno, no mês de outubro também houve correlação positiva para o crescimento do guapuruvu.

**Tabela 4.** Correlação da cronologia de *Schizolobium parahyba* com a precipitação mensal.

Cronologia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Cofecha</b>	0,00	0,02	-0,05	-0,03	-0,08	0,32*	0,34*	0,26	0,02	0,34*	0,07	0,02
<b>Standard</b>	0,02	0,02	-0,06	-0,02	-0,08	0,32*	0,34*	0,26	0,02	0,33*	0,09	0,01
<b>Residual</b>	0,07	-0,03	-0,03	-0,11	-0,01	0,17	0,20	0,19	0,12	0,16	-0,12	0,04
<b>Arstan</b>	-0,05	0,00	-0,10	-0,02	-0,06	0,32*	0,34*	0,30	0,03	0,33*	0,12	0,04
<b>Residual 2</b>	0,11	0,07	0,05	-0,20	-0,01	0,07	0,32*	0,20	0,10	0,12	-0,09	0,18
<b>Arstan 2</b>	0,10	0,07	0,04	-0,19	-0,02	0,08	0,31*	0,19	0,11	0,12	-0,09	0,15

\*Correlações significativas ( $p > 0,05$ ).

O crescimento das árvores pode sofrer maior ou menor influência do clima em determinados períodos no ano. Brienen e Zuidema (2005) estudando a Amazônia Boliviana, encontrou respostas diferentes em relação a precipitação, para quatro espécies da floresta tropical (Amburana, Cedrella, Cedrelinga e Tachigali). Sendo que três dessas espécies apresentam boa correlação com a estação chuvosa, enquanto uma (cedrella) com o início da estação seca. Segundo o mesmo autor, há várias explicações para este comportamento, uma delas pode estar relacionado à quebra da dormência no início da estação chuvosa, resultando em um período de crescimento mais longo. Outra explicação pode ser em função do armazenamento de água no solo superior a níveis críticos, o que pode favorecer o balanço hídrico positivo até mesmo em períodos curtos de seca.

Dunisch et al. (2003) explicam que pode haver influência positiva da chuva da estação chuvosa anterior ao período real de crescimento, através do armazenamento de água neste período, que será utilizada para suprir o crescimento no período vegetativo.

De acordo com Stokes & Smiley (1996) e Enquist & Leffer (2001), a precipitação é o principal fator que atua na largura dos anéis. Esses apresentam-se mais largos nos anos mais chuvosos e mais estreitos nos mais secos. Neste estudo verificou-se que o guapuruvu apresenta correlações significativas com o período de menor ocorrência de chuvas para todas as versões das duas cronologias construídas. O resposta da árvore na estação seca (inverno) pode estar relacionada com o fato da espécie não responder imediatamente a grande disponibilidade de água. Uma característica adaptativa de espécies vegetais é apresentada por Borchet (1994) onde observou que algumas espécies da Costa Rica garantem em seu tronco, a reserva de água na estação chuvosa, necessária para o período de floração que ocorre nos meses mais secos, dessa forma nem sempre o aumento da precipitação irá favorecer o crescimento das espécies de uma maneira geral. A saturação do solo pelo acúmulo de água na estação chuvosa também pode ser uma característica que esteja influenciando o crescimento da espécie nesta região.

Callado & Guimarães (2010), trabalhando com a mesma espécie na Ilha Grande, verificou a ocorrência de correlação significativa com os índices pluviométricos na área de estudo. A autora observou, taxas elevadas de crescimento no período que precede a morte dos indivíduos estudados, período este com maiores índices pluviométricos, sob influência do evento *La Niña*. Marcati et al. (2008), em estudo também com o guapuruvu em uma floresta estacional semidecidual localizado em Botucatu-SP, verificou que a espécie tem sua atividade

cambial reduzida no início da estação seca, coincidindo com a queda de folhas sendo o crescimento e brotamento da folha no início da estação chuvosa.

Os anéis de crescimento das árvores podem ser influenciados pelo clima local e o grau de resposta a diferentes fatores climáticos variará de acordo com a espécie, idade e localização de árvores individuais e podem variar até em uma mesma espécie, de acordo com a sua capacidade de adaptação. Os resultados encontrados para a relação entre o crescimento e a precipitação do guapuruvu na região do Tinguá indica que, neste caso, o aumento das chuvas no período do verão ou aumento da pluviosidade afeta de maneira diferente o comportamento da espécie em relação a estudos relacionados a mesma espécie em outras regiões, pois o aumento da quantidade de água nos anos mais chuvosos, não correspondem a um aumento do crescimento da espécie.

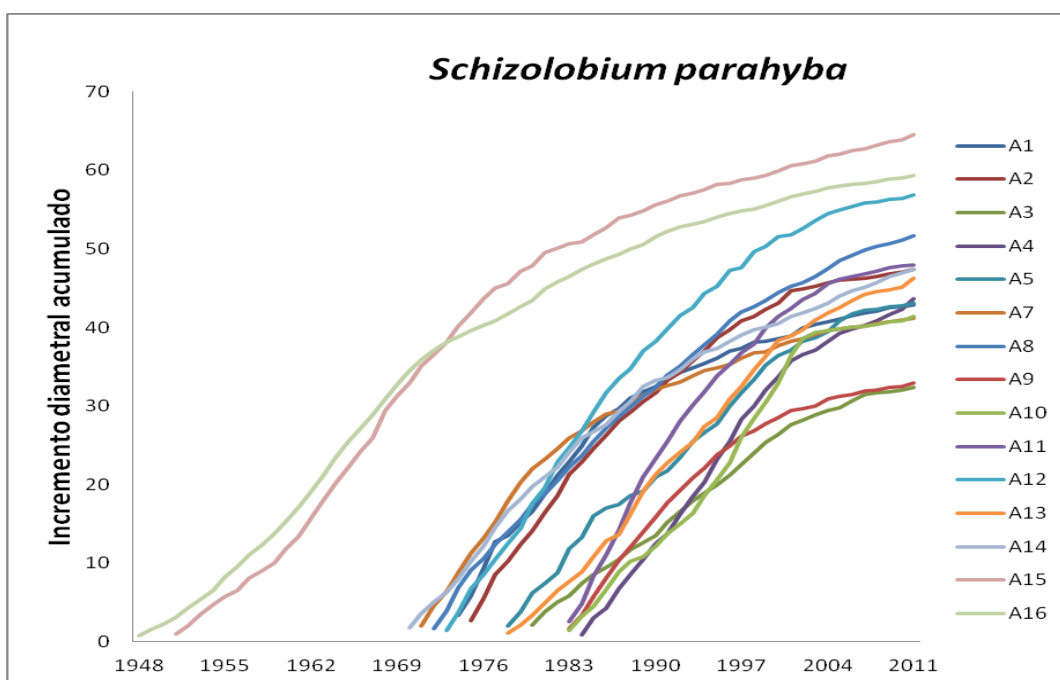
Nativa da Floresta Atlântica, a espécie apresenta área natural de distribuição que compreende a vertente litorânea da Serra do Mar, desde o Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul (Pio Corrêa 1926, Richter *et al.* 1974, Lorenzi 1992, Rizzini 1995). Desta forma o guapuruvu apresenta uma grande distribuição geográfica o que permite que a espécie se adapte a diferentes condições de temperatura, pluviosidade e outras condições ambientais. Em árvores de espécies tropicais, o estudo da dendrocronologia ainda é recente e exige estudos direcionados a compreensão da influência de fatores que induzem a formação dos anéis de crescimento.

### **5.3. Crescimento radial do tronco das árvores**

O incremento diametral acumulado (IDA) do tronco das árvores de guapuruvu é apresentado na figura 13. Estes incrementos foram obtidos, através da aplicação de análise macroscópica dos anéis de crescimento e da dendrocronologia.

O número de anéis de crescimento variou entre os indivíduos estudados, sendo o indivíduo 4, o mais jovem, apresentando o menor número de anéis (com 28 anéis), e o indivíduo 17, com 73 anéis o mais antigo. Callado & Guimarães (2010) verificou a ocorrência de indivíduos com 69 anéis, de acordo com a autora esta longevidade supera o potencial do táxon, que de acordo com informações provenientes de áreas de plantio e do conhecimento tradicional, está entre 40 e 50 anos (Lorenzi 1992). Os dados deste trabalho corroboram com os resultados obtidos pela autora, ou seja, alguns indivíduos apresentam idade superior a 50 anos.

A partir da contagem dos anéis de crescimento desde a medula até o câmbio, pode-se obter a idade estimada da árvore, o que pode não corresponder, necessariamente, a sua idade real desde a germinação (Kitzberger *et al.* 2000).



**Figura 133.** Incremento em diâmetro acumulado do tronco das árvores de Guapuruvu, (A) indica a árvore.

A partir da análise da figura 13 pode-se observar que todas as árvores, de diferentes idades, apresentam um comportamento semelhante em relação ao crescimento, sendo este mais acelerado nos primeiros anos de vida da árvore. O primeiro grupo, árvores 15 e 16, são os indivíduos mais velhos, tiveram o crescimento reduzido por volta do ano de 1969. Enquanto o segundo grupo com um maior número de indivíduos, porém mais jovens em relação ao primeiro, iniciaram o seu crescimento em 1969 reduzindo a velocidade de crescimento a partir do ano 1990. E o terceiro grupo com indivíduos mais jovem, com início do crescimento em 1978, tem a velocidade seu crescimento diminuído por volta de 1997. Com base nos dados apresentados nota-se que o *S. parahyba* apresenta um rápido crescimento nos primeiros anos de vida e com o passar dos anos ocorre a diminuição na velocidade do crescimento da espécie.

O *S. parahyba* está entre as espécies florestais de mais rápido crescimento nas regiões sudeste e sul do Brasil (Inoue *et al.* 1984). O crescimento das árvores depende de fatores como a disponibilidade de recursos ambientais (por exemplo, luz, água e nutrientes), condições locais, (competição e distância entre árvores, proximidade de cursos d'água, tipo de solo, etc.), tamanho e constituição genética da árvore, bem como sua história de desenvolvimento, cada um destes podendo afetar sozinho ou em conjunto o crescimento das árvores (Poorter & Bangers, 1993).

Contudo, observa-se que para a espécie em estudo, o guapuruvu, mesmo não estando nas mesmas condições microclimáticas e apresentando diferentes idades, o crescimento ocorre seguindo um mesmo padrão para todos os indivíduos estudados.

Para Rigatto *et al.* (2005), a capacidade produtiva de uma floresta pode ser avaliada, para um determinado local, através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal. Ortega e Monteiro (1988) destacaram, como fatores intrínsecos, a altura

dominante, o crescimento máximo, o volume total no final da rotação. Como fatores extrínsecos: o clima, a litologia, a edafologia, a morfologia, e a fitossociologia.

Segundo Chambers et al., (1998) informações sobre o crescimento e a idade das árvores são ferramentas importantes para o estudo sobre a dinâmica de populações, a determinação de perturbações recorrentes no ecossistema ao longo do tempo, sobre práticas de manejo florestal visando o desenvolvimento sustentável e até sobre o ciclo de carbono na floresta. Através da análise do crescimento das árvores é possível modelar a produtividade dos povoamentos e prescrever intervenções precisas para as florestas, visando obter o máximo rendimento (Brandelero et al. 2007). No entanto Lang & Knight, (1983), ressaltam que poucos são os estudos relacionados ao crescimento e idade em florestas tropicais.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho permitem concluir que:

- Detectou-se a presença de um sinal comum que indica um ciclo sazonal de crescimento e que permitiu a sincronização das séries dos anéis de crescimento das árvores individuais e em conjunto;
- A cronologia construída a para *S. parahyba* mostra um mesmo padrão de crescimento para os indivíduos da espécie na ReBio do Tinguá;
- A precipitação pode ser considerada determinante no crescimento do tronco das árvores de guapuruvu;
- A espécie apresenta potencial para estudos dendrocronológicos, a sensibilidade a precipitação revela a formação de anéis de crescimento largos e estreitos resultado da atividade cambial.

## **7. RECOMENDAÇÕES FINAIS**

- Para um melhor entendimento do comportamento do crescimento dessa espécie recomenda-se a realização de estudos dendrocronológicos em outras regiões de ocorrência do guapuruvu;
- Além disso, devem ser realizados estudos na área de anatomia ecológica, genética e fisiologia;
- Monitoramento da atividade cambial mensalmente com avaliação fenológica concomitante.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA) **Hidro Web**. Acessado em: 10 de janeiro 2013: </0http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>.

ALBAN, D.H. Red faine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients. **Science**, v.20, p.261-269, 1974.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-X em madeira**. 1994.143f. Dissertação (Mestrado Recursos Naturais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994.

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.24-42, 1998.

BODOQUE, J.M.; DIEZ-HERRERO, A.; MARTIN -DUQUE, J.F.; RUBIALES, J.M.; GODFRAY A.; PEDRAZA J.; CARRASCO, R.M.; SANZ, M.A. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain. **Catena** v.64,.81–102. 2005.

BONINSEGNA, J.A.; VILLALBA, R.; AMARILLA L. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. **International Association of Wood Anatomists Bulletin**. n.10: 161- 169. 1989.

BOWERSOX, T.W.;WARD, W.W. Prediction of oak site index in the ridge and valley region of Pennsylvania. **Science**., v.18, p.192-195. 1972.

BRANDES, A. F. N. **Anatomia do lenho e Dendrocronologia de lianas da família leguminosae ocorrentes na Mata Atlântica**. 2007. 94f. Dissertação - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

BRANDELERO, C.; ANTUNES, M.U.F.; GIOTTO, E. Precision silviculture: new technology for the forestry. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. v.3, n.2, p. 2007.

BRIENEN R. J.W.; ZUIDEMA P.A. During HJ Autocorrelated growth of tropical forest trees: unraveling patterns and quantifying consequences. **Ecol Manage**. v. 237, p.179-190, 2006.

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

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**. n.94, p.481-493, 2006.

BROWN, P.M. Introduction to dendrochronology lecture 1: Basic terminology and concepts . Tucson: **Rocky Mountain Tree-ring Research**, 21p, 2003.



- BUCHWAL, A. Dendrogeomorphological records of trail erosion. TRACE — Tree Ring in Archaeology. **Climatology and Ecology**. v.7, p.166-170. 2008.
- CALLADO C.H.; NETO S.J.S.; SCARANO F.R.; BARROS C.F. & COSTA C.G. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of Atlantic rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **IAWA Journal** v.22 n.1, 29-42. 2001a.
- CALLADO, C.H.; GUIMARÃES, R.C. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.** São Paulo, v.33, n.1, p.85-91, 2010.
- CALLADO, C.H.; NETO, S.J.S.; SCARANO, F.R.; COSTA, C.G. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Trees**, v. 15, 492-497. 2001b.
- CARRARA, P.E. And CAROLL, T.R. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado, **Earth Surface Processes**. n. 4:307–317p. 1979.
- CARVALHO, R.F. Alguns dados fenológicos de 100 espécies florestais, ornamentais e frutíferas, nativas ou introduzidas na EFLEX de Saltinho, PE. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v.7, n.25, p.42-44, 1976.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Embrapa-CNPQ, Paraná, Colombo. 1994. 640p.
- CARVALHO, P.E.R. Guapuruvu. **Circular técnica** 104. Colombo: EMBRAPA. 10p. 2005.
- CATESSON, A.M. 1994. Cambial ultra structure and biochemistry: Changes in relation to vascular tissue differentiation and seasonal cycle. **International Journal of Plant Sciences** v.155, 251-261.
- CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J.P. Ancient tree in Amazônia. **Nature**. v.391, p.135-136. 1998.
- CHEN, J.; SONG, B. Spatial Relationship of Biomass and Species Distribution in an Old-Growth Pseudotsuga-Tsuga Forest. **Forest Science** v.50 n3, p364. 2004.
- COLEY, T. S. Soil and the growth of trees. **adv. Agron.** v.4, p.329-398. 1952.
- CORONA, E. **Dendrochronologia: principi e applicazioni**. Verona: Intituti Italiano de Dendrochronologia, 103p. 1986.
- CORREA, J. E. Dendrocronología, buscando las edades del árbol tropical. **Revista el Mueble y la Madera**, 2003. Disponível em: <http://www.revista-mm.com/rev41/art11.htm>.
- COUNTRYMAN, D.W.; THOMSON, G.W. Site index of Iowa Upland oak Stands. Iowa State. **Science**, v.44, p.1-8. 1969.

DUNISCH O, MONTOIA VR, BAUCH J (2003) Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Struct Funct* 17:244–250

DANZER, S.R. Rates of slope erosion determined from exposed roots of ponderosa pine at Rose Canyon Lake, Arizona. In: J. Dean, D. M. Meko and T.W. Sewtnam, Editors, **Tree Rings, Environment, and Humanity radiocarbon. Proceedings of the International Conference**, University Arizona, Tucson, 671–678 p. 1996.

EINSPAHR, D. and MC COMB, A.L. Site oaks in relation to soil and Topography in Northeastern Far. **Iawa J.**, v.49. p.719-723. 1951.

ENQUIST, B.J. & LEFFLER, A.J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. **Journal of Tropical Ecology**. v.17. p.41-60.

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

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

FEARNSIDE, P.M.A Vazante na Amazônia e o aquecimento Global. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.39, n.231, p.76-78, 2006.

FERREIRA, L. **Periodicidade do crescimento e formação da madeira de algumas espécies arbóreas de Florestas Estacionais Semidecíduas da região sudeste do Estado de São Paulo**. 2002. f.103. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais ) Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2002.

FORZA, R.C.; LEITMAN, P.; WALTER, B.M.T.; COSTA, A.; PIRANI, J.R.;MORIM, M.P.;QUEIROZ, L.P.; MARTINELLI, G.; PEIXOTO, A.L.; COELHO, M.A.N.; STEHMANN, J.R.; BAUMGRATZ, J.F.A.; LOHMANN, L.G.; HOPKINS, M. 2010. **Angiospermas in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. New York: Academic Press, 1976. 567p.

FRITTS, H.C. **Tree-ring evidence for climatic changes in Western North America**. Laboratory of tree-ring research, University of Arizona, Tuscon, USA. 1965.

GÄRTNER, H. Glacial Landforms, Tree Rings: Dendrogeomorphology. In: S.A. Elias, Editor, *Encyclopedia of Quarternary*. **Sciences, Elsevier**, v.4, 2006.

GÄRTNER, H.; SCHWEINGRUBER F.; DIKAU, R. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots, **Dendrochronologia** v.19, 81–91 p. 2001.

GÄRTNER, H.; STOFFEL, M.; LIÈVRE, I. and MONBARON, M. Tree ring analyses and detailed geomorphological mapping on a forested debris flow cone in Switzerland. In: D. RICKENMANN AND CH. CHEN, Editors, Debris Flow Hazards Mitigation: **Mechanics, Prediction, and Assessment**. v.1, p.207–217, 2003.

GEBREKIRSTOS, A.; MITLO HNER R.; TEKETAY D.; WORBES M. Climate growth relationships of the dominant tree species from semi-arid savanna woodland in Ethiopia. **Trees-Struct Funct** v.22, p.631–641. 2008.

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

GRAY, J. & THOMPSON, P. Climatic information from analysis of cellulose, lignin and whole wood from tree rings. **Nature**. v.270, p.708-709, 1977.

GUARDA, E. C. Atlas do meio ambiente do Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Brasília: **EMBRAPA – SPI: Terra Viva**, 2.ed 160p. 1996.

HARPER, H. J.; Relation of climatic conditions, soil characteristics, and tree development in the southeast Texas forests. **Science**. Am. Proc., v.5, p.327-335. 1940.

HIENRICH, I. **Dendroclimatology of *Toona ciliata***. p. 235 2004. Thesis (PhD in Management Resources and Environmental Science) - School of Resources, Environment and Society, Australian National University, Canberra, 2004.

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

HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITTS, H.C. **Quality control of crossdating and measuring: a user`s manual for program COFECHA**. In: Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern great basin. Tucson: Arizona University 1986. p.15-35

IAWA Committe Dendrochronology in Monsoon Asia. **IAWA Journal**. v.20 n.3, p.223-350. 1999.

IAWA Committee List of microscopic feature of hardwood identification. International Association of Wood Anatomists. **Bulletin** v.10 n.3, p.219-332. 1989.

INOUE, M.T., RODERJAN, C.V. & KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto Madeira do Paraná**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba.1984.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) **El Nino**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> . Acesso em: 05 janeiro 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVAVEIS (IBAMA). **Plano de Manejo ReBio do Tinguá**. Brasília. 2006. p.1-12.

IQBAL, M. & GHOUSE, A. K. M. Seasonal rhythms of structure and behaviour of vascular cambium in ficus rumphii. **New Phytology**. v.71, p.335-348. 1987.

JIMENEZ J.A.G. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. **Colombia Forestal**, v.14, 97-111, 2011.

KITZBERGER, T.; VEBLEN, T.T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In *Dendrocronología en América Latina* (F.A. Roig, ed.). **Ediunc, Mendoza**, p.17-78, 2000.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. Academic Press, San Diego. 1991.

LACHAUD, S.; CATTESSON, A.M. & BONNEMAIN, J.L. Structure and functions of the vascular cambium. *C.R. Acad.Scl. Paris*, **Elsevier** v.322, p.633-650. 1999.

LAMARCHE, V.C. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California, **US Geological Survey Professional Paper**. p.352-I, 1968.

LANG, G.E.; KNIGHT, D.H. Tree growth, mortality, recruitment, and canopy gap formation during a 10 year period in a tropical moist forest. **Ecology**. v.64, p.1075-1080. 1983.

LARSON, P.R. **The vascular cambium. Development and structure**: Berlin: Springer-Verlag. 730p. 1994.

LEWINSON T.M. & PRADO P.I. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**. Brasília: Editora Contexto, 176p. 2002.

LISI, C.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B., FERREIRA-FEDELE, L. & VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal** v.29, p.189-207, 2008.

LOBO, P.C. & JOLY, C.A. Mecanismos de tolerância à inundação de plantas de *Talauma ovata* St. Hill (Magnoliaceae), uma espécie típica de matas de brejo. **Revista Brasileira de Botânica**, v.18 p.177-183. 1995.

LORENZI, H. **Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Árvores Brasileiras**. Ed. Nova Odessa: Plantarum, 352p. 1992.

MAINIERI, C. & CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo. 1989.

MARCATI, C. R.; MILANEZ, C. R. D. & MACHADO, S. R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). **Trees**. v.2 n. 2:3-12p., 2008.

NOBRE, A.C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v.59, n.3, p. 22-27, 2007.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) O. KUNTZE: Bases de Dendroecologia em Ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**.

2007. 139f. Tese (Doutorado em Ciências com ênfase em Ecologia ) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências. Porto Alegre, novembro de 2007.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de La calidad de las estaciones forestales. **Ecologia**, n.2, p.155-184, 1988.

PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.9, n.1, p.165 – 175, 2002.

PEREZ-RODRIGUES. R.; MARQUES M. J.; BIENES R. Use of dendrochronological method in *Pinus halepensis* to estimate the soil erosion in the South East of Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**. v. 378, p.156–160. 2007.

PHILIPSON, W.R.; WARD, J.M. & BUTTERFIELD, B.G. **The vascular cambium: Its development and activity**. London: *Chapman & Hall*. p.121–149. 1971.

PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E. & MEDRI, M.E. Adaptations to flooding by tropical trees: Morphological and anatomical modifications. In: Scarano F.R. & A.C. Franco (eds.). Ecophysiological strategies of xerophytic and Amphibious in the neotropics. **Series Oecologia Brasiliensis**. v.4, p.157-176, 1996.

PIO CORRÊA, M.P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro. 1926.

POORTER, L.; BANGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen Agricultural University. 223p. 1993.

RASPOPOV, O.M.; DERGACHEV, V.A. and KOLSTRÖM, T. Hale Cyclicity of Solar Activity and Its Relation to Climate Variability. **Journal Solar Physics**. v.224, n.1-2, 455-463p. 2004.

RICHTER, H.G., TOMASELLI, I. & MORESCHI, J.C. Estudo tecnológico do guapuruvu (*Schizolobium parahybum*). **Revista Floresta** v.5, p.26-30. 1974.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R. .; MATTOS, J.L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

RIGOZO, N.R. Registros da atividade solar e de outros fenômenos geofísicos em anéis de crescimento de árvores. **Revista Brasileira de Geofísica** v.17, n.2-3, p.217-218. São Paulo. 1999.

RIGOZO, N.R.; ECHER, E.; NORDEMANN, D.J. R. & VIEIRA, L.E.A. Prediction of solar activity on the basis of spectral characteristics of sunspot number. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, São José dos Campos, SP, Brasil. p.2239-2243, 2004.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. ed. Edgard Blucher, São Paulo.1995.

ROIG, F. A. Dendrocronologia en América Latina. Mendoza: EDIUNC. 2000.

ROZENDAAL, D. M. A.; BRIENEN R. J. W.; SOLIZ-GAMBOA C.C.; ZUIDEMA, P. A. Tropical tree rings reveal preferential survival of fastgrowing juveniles and increased juvenile growth rates over time. **New Phytol.** v.185, p.759–769 (2010).

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

RUBIALES J. M.; BODOQUE J. M.; BALLESTEROS J. A.; DIEZ-HERRERO A. Response of *Pinus sylvestris* roots to sheet-erosion exposure: an anatomical approach. **Natural Hazards and Earth System Science**. v.8, p.223–231p. 2008.

RUBINO, D.L. & MCCARTHY, B.C. Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. **Dendrochronologia** v.21, p.97-115p. 2004.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiología vegetal**. Nápoles: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994, 159p.

SANTOS, M.S.; SANTIAGO, A.M.A., GUIMARÃES, C.; NOGUEIRA, I. & SANT'ANNA, T. História da Ilha Grande e patrimônio cultural material e imaterial. *In O ambiente da Ilha Grande* (M.P. Bastos & C.H. Callado, eds.). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.273-345, 2009.

SASS-KLAASSEN, U.; COURALET, C.; SAHLE, Y.; STERCK, F.J. Juniper from Ethiopia contains a large-scale precipitation signal. **International Journal of Plant Sciences**. v.169 p.1057-1065, 2008.

SAVVA, Y.V., SCHWEINGRUBER, F.H., VAGANOV, E.A. & MILYUTIN, L.I. 2003. Influence of Climate Changes on Tree-ring Characteristics of Scots Pine Provenances in Southern Siberia (Forest-Steppe). **IAWA Journal**, v.24 n.4, 371-383.

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

SPEER, J.H. **Fundamentals of Tree-rings research. Computer programs and Statistical Methods**. p.141. 2010.

STAHLER, D.W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. **IAWA Journal** v.20 n.3, p.249-253. 1999.

STOKES, M.A. & SMILEY, T.L. An Introduction to Tree-Ring Dating. Arizona: The

THERRELL, M.D.; STAHLER D.W.; RIES L.P.; SHUGART H.H. Tree-ring reconstructed rainfall variability in Zimbabwe. **Clim Dyn** v.26, p.677–685. 2006.

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

TROUET V.; HANECA, K.; COPPIN, P.;BEECKMAN, H. Tree ring analysis of *Brachystegia spiciformis* and *Isobertina tomentosa*: evaluation of the ENSO-signal in the

miombo woodland of Eastern Africa. **International Association of Anatomists Journal** v.22 p.385-99, 2001.

TROVATI, L.R.; FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. **IPEF**. n.26, p.31-36. 1984.

TSUKAHARA, H. & KOZLOWSKI, T. Importance of adventitious roots to growth of flooded *Platanus occidentalis* seedlings. **Plant and Soil, Soil**, v.88, p.123-132. 1985 University of Arizona Press. 1996.

WORBES, M. Growth Rings, Increment and Age of trees in Inundation Forests, Savannas and a Mountain Forest in the Neotropics. **IAWA Bulletin**, v.1. n.10 (2), p.109-122, 1989.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees – a review. **IAWA Bulletin New Series**. v.16, n.4, p.337-351, 1995.

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

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics: a brief history and a outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, v.20, n.1-2, p.217-231, 2002.

WORBES, M.; JUNK, W.J. How old are tropical trees? the persistence of a myth. **IAWA Journal** v.20, n.3. p.255-260, 1999.

YAMAMOTO, F.; T. SAKATA & K. TERAZAWA. Growth, morphology, stem anatomy, and ethylene production in flooded *Alnus japonic* seedlings. **IAWA Journal**. v.16, p. 47-59.1995.

## ANEXOS

### Anexo I

Arvore	Latitude	Longitude
1	22°58' 45" S	43°44'23" O
2	21°86'38" S	45°51'75" O
3	22°58'12" S	43°45'11" O
4	22°58'12" S	43°45'07" O
5	22°58'13" S	43°45'08" O
6	22°58'13"	43°45'02" O
7	22°58'20" S	43°44'84" O
8	22°74'50" S	43°70'93" O
9	22°74'50" S	43°70'93" O
10	22°59'30" S	43°42'43" O
11	22°59'28" S	43°42'44" O
12	22°59'27" S	43°42'46" O
13	22°59'30" S	43°42'45" O
14	22°59'31" S	43°42'46" O
15	22°58'56" S	43°43'78" O
16	22°58'39' S	43°43'83" O
17	22°58'27"S	43°43'76" O
18	22°58'29" S	43°43'75" O
19	22°58"47" S	43°43'74" O
20	22°58'343" S	43°43'83" O
21	22°58'31" S	43°43'86" O
22	22°58'32" S	43°43'85" O
23	22°58'26" S	43°43'84" O
24	22°57'93" S	43°43'44" O
25	22°58'73" S	43°43'02" O
26	22°58'26" S	43°42'28" O
27	22°58'38" S	43°41'63" O
28	22°58"39" S	43°41'64" O
29	22°58'41" S	43°41'64' O
30	22°58'45" S	43°44'23" O



**Anexo II**

```

                                AR20BCOF
[] Dendrochronology Program Library
AR20B Program COF 13:38 Tue 11 Dec 2012 Page 1 Run
[]
[] PROGRAM      C O F E C H A
                                Version 6.00P   28471
    
```

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS

File of DATED series: crono20arvb.txt

CONTENTS:

- Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
- Part 2: Histogram of time spans
- Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
- Part 4: Bar plot of Master Dating Series
- Part 5: Correlation by segment of each series with Master
- Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
- Part 7: Descriptive statistics

```

RUN CONTROL OPTIONS SELECTED                                VALUE
1 Series are not transformed: no spline, AR modeling or
log-transform.
2 Segments examined are                                    30 years lagged
successively by 15 years
3 No AR modeling                                          N
4 Series not transformed to logarithms                    N
5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)
  Critical correlation, 99% confidence level              .4226
6 Master dating series saved                              N
7 Ring measurements listed                               N
8 Parts printed                                          1234567
9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations
(Y)
    
```

```

Time span of Master dating series is 1939 to 2011 73 years
Continuous time span is             1939 to 2011 73 years
Portion with two or more series is  1940 to 2011 72 years
    
```

```

*****
*C* Number of dated series          46 *C*
*O* Master series 1939 2011        73 yrs *O*
*F* Total rings in all series      1810 *F*
*E* Total dated rings checked      1809 *E*
*C* Series intercorrelation         .714 *C*
*H* Average mean sensitivity        .443 *H*
*A* Segments, possible problems    102 *A*
*** Mean length of series           39.3 ***
*****
    
```

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

```

No ring measurements of zero value
♀ PART 2: TIME PLOT OF TREE-RING SERIES:
13:38 Tue 11 Dec 2012 Page 2
    
```

-----  
 Correlations of 30-year dated segments, lagged 15 years  
 Flags: A = correlation under .4226 but highest as dated; B = correlation  
 higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	1935 1964	1950 1979	1965 1994	1980 2009	1995 2024
1	A1R1	1970 2011			.66B	.73B	.71B
2	A1R3	1974 2011			.73B	.66B	.65B
3	A2R1	1975 2011			.78B	.72B	.71B
4	A2R2	1975 2011			.79	.89	.91
5	A2R3	1975 2011			.83B	.75B	.71B
6	A2R4	1975 2011			.73B	.80B	.85
7	A3R1	1976 2011			.48B	.47B	.50B
8	A3R3	1980 2011				.60B	.61B
9	A3R4	1990 2011				.71B	

