**CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE
ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze ,
ATRAVÉS DA MICRODENSITOMETRIA DE RAIOS X**

NILS JOACHIM WEHR

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **MARIO TOMAZELLO FILHO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Madeiras.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Abril - 1998

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Wehr, Nils Joachim

Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X / Nils Joachim Wehr. - - Piracicaba, 1998.

92 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.

Bibliografia.

1. 8.

1. Crescimento vegetal 2. Dendrocronologia 3. Densitometria de raio X 4. Pinheiro-do-paraná I. Título

CDD 634.9751

Dedico aos meus pais
Gesine Gertrud Elsa Elisabeth Elisbeth Wehr e
Wilhelm Paul Rudolf Wehr (em memória)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Mário Tomazello Filho e orientador, pelos conselhos, orientação e auxílio, os quais permitiram a realização deste trabalho.

A Alina B. do Amaral pelo incentivo e companheirismo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro.

A Maria Aparecida Rizzato Bermudez pelo auxílio.

A IMPACEL Indústria de Papel Arapoti S.A. e a seus funcionários. Engº Marlos Rodnei Souza Wecheteck, Engº Osmar Menegol, Engº João Roberto Duarte, Laércio dos Santos Couto, Ari Rodrigues ; José Martins Bega pela cessão das amostras e apoio de campo.

Ao Milton Ribeiro pelo auxílio e elaboração do programa de software.

Ao Prof. José Otávio Brito pelo companheirismo e incentivo e Prof. Hilton Thadeu Z. do Couto, pelo apoio.

Ao Prof Lucien Fraipont da Faculdade de Ciências Agronômicas, Gemblox-Bélgica e ao Sr. Ernst Schär do Instituto Federal de Pesquisas Florestais-Suíça, pelo auxílio na utilização da metodologia de densitometria de raios X.

Ao Braulio Silva que permitiu disponibilizando tempo necessário para que finalizasse este trabalho.

A Flávia Gobbin e Marcos Correa da NG Metalúrgica que me auxiliaram na digitalização das imagens.

A minha família , ao meu pai, Wilhelm Paul Rudolf Wehr, que gostaria de ter tido chance de ainda ver esta obra, a minha mãe, Gesine Gertrud E. E. E. Wehr, que sempre me incentivou e nunca deixou desistir. Ao meu irmão Jan e sua esposa Cacilda e suas filhas Hayra e Layla. Ao meu irmão Tim e sua esposa Sandra e filhos Pitt, Anny e Ivo. E a Gabriela Zilio que compreendeu o tempo que tive de dispor para este trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES.....	x
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. <i>Araucaria angustifolia</i>	3
2.1.1. Descrição da espécie.....	3
2.1.2. Sinonímia.....	4
2.1.3. Área de ocorrência natural.....	5
2.1.4. Características da madeira	5
2.2. Histórico da dendrocronologia.....	8
2.3. O gênero <i>Araucaria</i> na Dendrocronologia.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Local de coleta das amostras de madeira.....	15
3.2. Histórico da plantação de araucária.....	15
3.3. Solo, topografia e clima.....	16
3.4. Obtenção e preparo das amostras.....	17
3.5. Radiografia das amostras de madeira	22
3.5.1. O equipamento de raios X.....	22
3.5.2. O filme radiográfico.....	23
3.5.3. A exposição dos filmes radiográficos.....	23
3.5.4. Exposição das películas.....	24

3.5.5. Processamento radiográfico.....	25
3.5.6. Temperatura do revelador.....	26
3.5.7. Seqüência do processamento radiográfico.....	27
3.6. Análise das radiografias das madeiras.....	28
3.6.1. O microdensitômetro Joyce LoebI MK III-C.....	28
3.6.2. Dimensões da fenda de leitura.....	29
3.6.3. Calibração.....	30
3.6.4. Fator de correção.....	33
3.6.5. Definição de lenho tardio.....	34
3.6.6. Sistema computacional.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. Dimensões das árvores de araucária amostradas.....	37
4.2. Arquitetura das árvores de araucária.....	40
4.3. Características dos anéis de crescimento.....	41
4.4. Variação da densidade da madeira, no sentido radial,.....	46
4.5. Variação dos valores médios de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento.....	48
4.6. Variação dos valores médios de densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	53
4.7. Variação da largura média dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	56
4.8 Valores de densidade média da madeira.....	58
5. CONCLUSÕES.....	63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICES.....	72
Apêndice A - Índices pluviométricos na região de Arapoti-PR.....	72
Apêndice B - Variação dos valores da densidade da madeira e da espessura dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	73
Apêndice C - Variação dos valores de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento.....	82
Apêndice D - Variação dos valores de densidade média dos lenhos inicial e tardio, dos anéis de crescimento.....	85
Apêndice E - Variação da largura dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribuição geográfica da araucária, no sudeste do Brasil, segundo HUECK (1953).....	6
Figura 2. Local de coleta das amostras de madeira de araucária no Município de Arapoti-PR.	16
Figura 3. Aspecto geral do talhão de araucária.....	17
Figura 4. Pluviosidades médias mensais (mm/ano) no período de 1971 a 1995.	18
Figura 5. Temperaturas médias mensais (em °C) no período de 1971 a 1995.....	18
Figura 6. Precipitação anual (mm) nos 25 anos de idade da plantação de araucária (julho a junho).	19
Figura 7. Esquema de pesagem dos ramos das árvores de araucária amostradas.	20
Figura 8. Demarcação e corte da amostra diametral em disco de madeira de árvore de araucária.	21
Figura 9. Demarcação e corte da amostra transversal.....	22
Figura 10. Sobreposição da fenda de leitura do microdensitômetro.....	30
Figura 11. Gráfico da cunha de calibração e o da amostra C1.....	33
Figura 12. Peso dos ramos e acículas das árvores de araucária.....	38
Figura 13. Altura total das árvores de araucária e altura do início dos ramos no tronco.	38
Figura 14. Arquitetura das árvores de araucária dominantes.....	43
Figura 15. Arquitetura das árvores de araucária co-dominantes.....	44

Figura 16. Arquitetura das árvores de araucária dominadas.....	45
Figura 17. Positivo da radiografia das amostras de madeira de árvores de.....	47
Figura 18. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária dominantes.	50
Figura 19. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária co-dominantes.	51
Figura 20. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária dominadas.....	52
Figura 21. Variação dos valores médios de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento.....	54
Figura 22 Variação dos valores médios de densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.....	55
Figura 23. Variação da largura média dos lenhos inicial e tardio dos anéis.....	59
Figura 24. Valores de densidade média da madeira.....	60
Figura 25. Variação dos valores de incremento.....	61

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Fases da dendroclimatologia , segundo Schweingruber (1983).	10
Tabela 2. Tempos e temperaturas para a revelação e fixação de filmes radiográficos, segundo KODAK.....	26
Tabela 3. Dimensões das árvores de araucária amostradas, pertencentes aos 3 padrões.	37
Tabela 4. Valores de densidade média da madeira.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Página

**Equação 1. Equação para o cálculo da densidade da madeira
com a densidade radiótica obtida no filme de raios X.32**

**Equação 2. Cálculo do fator de correção da densidade
rádiótica pela densidade volu-gravimétrica.34**

**Equação 3. Equação utilizada para a correção dos
valores da cunha de calibração.34**

**CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE
ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze ,
ATRAVÉS DA MICRODENSITOMETRIA DE RAIOS X**

Autor: NILS JOACHIM WEHR

Orientador: Prof. Dr. MARIO TOMAZELLO FILHO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização dos anéis de crescimento de árvores de araucária através da técnica de microdensitometria de raios X. Árvores de araucária pertencentes a 3 classes de diâmetro - dominantes, co-dominantes e dominadas - com 25 anos, foram cortadas de uma plantação da espécie, localizada no município de Arapoti-PR. Além da medição das suas dimensões e da arquitetura das copas, foram coletados discos de madeira na região basal do tronco e preparados para a obtenção de filmes de raios X e análise por microdensitômetro. Os resultados obtidos permitiram (i) confirmar a idade das árvores através da análise das radiografias e dos gráficos de gradiente de densidade no sentido medula-casca; (ii) avaliar a variação dos valores médios das densidades máxima, mínima e média dos anéis de crescimento; (iii) determinar a variação dos valores da largura e da densidade dos lenhos inicial e tardio; (iv) obter valores de densidade média da madeira e (v) relacionar a morfologia externa das árvores, principalmente a arquitetura de suas copas, com as características dos anéis de crescimento. No trabalho são discutidos os resultados obtidos com os apresentados na literatura para a araucária com outras metodologias de análise de anéis de crescimento e de parâmetros de qualidade da madeira. São, também, apresentadas, as aplicações da metodologia de densitometria de raios X em araucária para a dendrocronologia, manejo florestal, dinâmica das populações florestais, dentre outras.

CHARACTERISATION OF THE TREES RING GROWTH WOODG
OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ,
APPLYING THE X-RAY MICRODENSITOMETRY.

Author :NILS JOACHIM WEHR

Adviser: Prof. Dr. MÁRIO TOMAZELLO FILHO

SUMMARY

The present work has as its aim the characterisation of the growth rings from araucaria trees applying the X-ray microdensitometric method . Araucaria trees of to 3 diameter categories - dominated, co-dominated and suppressed - with 25 years, were cutted of a plantation from this species located, in Arapoti-. Parana, Brazil. Beside the measurement of the dimension and architecture of the tree crown, wood discs were also collected at the below part of the stem, near the ground, and prepared to take X-rays films to be analysed in the microdensitometer. The purchase results allowed: (i) confirmation of the tree age by the analysis of X ray film and density profile to pith to the bark; (ii) evaluate the mean value of the densities of the maximum, minimum and mean of the tree growth rings; (iii) determine the width variation and the early and latewood density; (iv) obtain the wood mean density and (v) correlate the canopy of the trees, particularly this architecture, with the tree growth rings characteristics..

In this work was discussed the results with those one presented in the literature about araucaria, with other methodologies of tree ring growth ring analysis and wood quality parameters. Also, was presented the application of the X-ray densitometric methods on araucaria for dendrochronology, forestry management , forestry dynamics, etc.

1. INTRODUÇÃO

O gênero ***Araucaria***, pertencente à Família Araucariaceae, é exclusivo do Hemisfério Sul, possuindo somente 2 espécies na América, sendo ***A. araucana*** no Chile e Argentina e ***A. angustifolia*** no Brasil (JOLY, 1975). Com inúmeros nomes vulgares as árvores de ***A. angustifolia***, ou araucária, chegam a atingir na fase adulta, altura de até 40 m e diâmetro de 1,5 m, apresentando tronco cilíndrico, livre de ramos e copa umbeliforme, enquanto que exemplares jovens apresentam copa piramidal, oval ou colunar (REITZ et al., 1978). As árvores de araucária, em populações naturais ocorriam geralmente em associação com inúmeras espécies de folhosas e uma de conífera (***Podocarpus lambertii***, pinheiro-bravo, Família Podocarpaceae) em vastas áreas dos Estados das regiões sul e sudeste do país (CARVALHO, 1994). A excelente qualidade e a ampla utilização de sua madeira provocou intensa exploração das árvores dessa espécie, restringindo de forma significativa sua área de ocorrência natural. TOMAZELLO F^o (1986) em publicação da FAO sobre espécies florestais sob riscos de extinção, apresenta uma revisão sobre a araucária, com ênfase aos aspectos ecológicos da espécie.

As árvores de araucária estão sujeitas, a exemplo de árvores de inúmeras outras espécies, às variações ecológicas do meio ambiente, relacionadas com fatores climáticos (temperatura, luminosidade, precipitação, teor de água no solo, teor de CO₂, etc.), edáficos (textura, nutrientes, compactação do solo, topografia, declividade, etc.), biológicos (associação com microorganismos, ataque de pragas e doenças, etc.), anormalidades climáticas (geada, seca, etc.), técnicas de manejo florestal (adubação, espaçamento, preparo do solo, etc.), ações antropogênicas (poluição, fogo, etc.) e outros relacionados. Essas árvores apresentam a capacidade de gravar no seu tronco,

ano após ano, na forma de anéis de crescimento, essas variáveis ecológicas do ambiente, constituindo-se em um importante fonte de informações para a Dendrocronologia e Dendroclimatologia. A dendrocronologia é definida como a ciência que possibilita a datação dos anéis de crescimento. Inclui pesquisas sobre o conteúdo de informações existentes na estrutura dos anéis de crescimento e aplicações para as questões relativas ao meio ambiente e históricas, enquanto que a dendroclimatologia inclui as áreas que utilizam informações contidas nos anéis de crescimento com o objetivo de estudar fenômenos ecológicos e ambientais (SCHWEINGRUBER, 1990).

Essas áreas de pesquisa tiveram um desenvolvimento acelerado após as significativas contribuições de POLGE (1966), na França, ao analisar os anéis de crescimento de amostras de madeiras de diversas espécies em filmes de raios X em um microdensitômetro. As informações obtidas pela técnica de microdensitometria de raios X em madeiras permitem, dentre inúmeras aplicações, a determinação precisa da idade das árvores, da taxa de crescimento, da biomassa produzida e do efeito dos fatores do meio que atuam sobre as árvores e populações, enumerados anteriormente.

Pelo exposto os objetivos do presente trabalho são a aplicação da metodologia de densitometria de raios X para a análise dos anéis de crescimento de árvores de araucária permitindo a determinação da idade das árvores, da taxa de crescimento e do efeito das possíveis intervenções antropogênicas. Parâmetros de qualidade da madeira de árvores de araucária também serão obtidos pela metodologia de densitometria de raios X.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. *Araucaria angustifolia*

2.1.1. Descrição da espécie

A araucária, segundo REITZ, KLEIN e REIS (1978), é um árvore alta, de 25-50 m de altura , 1- 2 m ou mais de diâmetro, tronco em geral cilíndrico, reto, raras vezes ramificado em 2 ou mais; casca grossa (até 15 cm), resinosa, cuja superfície externa se desprende em placas, cinzento escura.

As árvores novas apresentam copa cônica e as adultas possuem ramos dispostos em 8 - 15 verticílios cujo afastamento se reduz gradualmente até o ápice, restando em árvores velhas somente uma umbela terminal. Os ramos primários são cilíndricos, curvos para cima, maiores os inferiores e menores os superiores e os ramos secundários (grimpas) são alternos e agrupados no ápice dos ramos primários. As folhas tem 3 - 6 cm de comprimento, 4 - 10 mm de largura, simples, pouco derricentes, imbricadas, coriáceas, sésseis, lanceoladas, agudíssimo-pungentes, verde-escuras (MAINIERI, CHIMELO e KAJYA, 1974).

As árvores são dióicas, às vezes monóicas, provavelmente por trauma ou doenças, com flores unisxuadas. As flores masculinas (localmente denominadas mingote, pinheco, etc..) têm 10 - 15 cm de comprimento, por 2 - 4 cm de diâmetro, sendo constituídas de uma escama coriácea, mais ou menos côncava, achatada, pedicelada e com 10 - 25 anteras alongadas presas na face ventral de cada escama. As flores femininas dispõem-se no ápice de um raminho protegido por numerosas folhas muito próximas , contêm aproximadamente 1000

brácteas escamiformes, coriáceas, sem asas, com um espinho recurvo no ápice, inseridas sobre um eixo central cônico. As brácteas escamiformes férteis sustentam apenas um óvulo e, após a sua fecundação, envolvem-no e soldam seus bordos com os da bráctea superior, comprimindo as brácteas escamiformes estéreis, à medida que a semente se desenvolve (REITZ, KLEIN e REIS, 1978).

O estróbilo (pinha) tem de 10-20 cm de diâmetro, com 10-150 pinhões, com 3 - 5 cm de comprimento, 1 - 2 cm de diâmetro. As sementes são obovado-cuneiformes, lisas, achatadas ou não, com ápice terminando com um espinho achatado e curvo para a base possui amêndoa branca ou rosada-clara. As sementes são constituídas principalmente de matéria amilácea, envolvida pelas brácteas ventral e dorsal com o embrião no centro cilíndrico constituído ainda do hipocótilo, radícula e dos cotilédones. Os cotilédones são brancos ou rosados-claros; retos ou com uma extremidade dobrada, seção plano convexa com 5/6 do comprimento do embrião na inserção encontra-se o meristema, que formará o caulículo (REITZ, KLEIN e REIS, 1978).

2.1.2. Sinonímia

A araucária possui inúmeros nomes vulgares, dentre os quais pinheiro-do-Paraná, pinho, pinheiro caiová, pinheiro-são-josé, pinheiro macaco, pinheiro-das-missões, curui ou curiúva (nomes indígenas). As variedades e formas recebem o nome de pinheiro-preto, pinheiro-rajado, pinheiro-de-ponta-branca, pinheiro-branco, pinheiro-elegante, pinheiro-monóico, pinheiro-macho-femea, pinheiro-cajová e pinheiro-cajuva, etc. (MATTOS, 1972).

2.1.3. Área de ocorrência natural

A araucária ocorre naturalmente no sul e sudoeste brasileiro, estendendo-se desde latitude de 25°30' e 27°W, incluindo também a província de Misiones, na Argentina (REITZ, KLEIN e REIS, 1978).

No Brasil segundo MATTOS (1972) a araucária é encontrada nos planaltos, a uma altura de 600-800 m e, em casos isolados, acima de 1000 m, principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Nos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais encontram-se apenas algumas áreas isoladas ocupadas por esta espécie. Ocorre na Serra da Mantiqueira (Estados de Minas Gerais e São Paulo) principalmente na região de Campos do Jordão SP, estendendo-se também pelos Estados do Paraná e Santa Catarina, onde é comum nas regiões montanhosas do Planalto Central, a uma altitude compreendida geralmente entre 500-1100 m, não atingindo a cadeia de montanhas da Serra do Mar. No Estado do Rio Grande do Sul acompanha as regiões montanhosas no Estado de Santa Catarina; alcançando a Argentina na parte nordeste da Província das Missões (MANIERI, CHIMELO e KAJYA, 1974).

2.1.4. Características da madeira

2.1.4.1. Características gerais

A araucária apresenta madeira leve; cerne e alburno pouco diferenciados, branco amarelado a pardo-claro, uniforme; freqüentemente com manchas róseo avermelhadas, provavelmente de origem traumática; textura fina e uniforme; grã direita; superfície lisa ao tato e mediamente lustrosa; cheiro pouco intenso e agradável de resina, gosto pouco acentuado, também de resina

(MAINIERI, CHIMELO e KAJYIA, 1974). A madeira a 15% de umidade apresenta peso específico em torno de $0,55 \text{ g/cm}^3$ (moderadamente pesada); com boas características físico-mecânicas, porém com baixa resistência natural ao apodrecimento aos fungos xilófagos e ao ataque de cupins de madeira seca, de alta permeabilidade às soluções preservantes (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

Figura 1. Distribuição geográfica da araucária, no sudeste do Brasil, segundo HUECK (1953).

2.1.4.2. Descrição macroscópica

Os traqueídeos são individualmente indistintos a olho nu e perceptíveis sob lente, regularmente dispostos, com orientação radial. Os raios

são muito finos, aproximados, visíveis só sob lente nas faces transversal e na longitudinal-tangencial e contrastados na face longitudinal-radial. Os anéis de crescimento contêm uma faixa estreita de lenho inicial e tardio, sendo pouco demarcados (MAINIERI, CHIMELO e KAJYIA, 1974).

2.1.4.3. Descrição microscópica

Os anéis de crescimento são pouco demarcados por algumas fileiras de traqueídeos com paredes mais grossas e de diâmetro menor, ou menos freqüentemente, a delimitação dos anéis é irregular, não havendo uma linha nítida de separação, apesar de apresentar alguns traqueídeos de paredes ligeiramente mais espessas; a transição do lenho tardio para o inicial é gradual. Os traqueídeos tem seção poligonal, contornos arredondados na região de lenho tardio com paredes mais espessas. O parênquima axial é ausente e o parênquima radial (raios) homogêneo, constituído de células alongadas e unisseriados com paredes horizontais e verticais finas (raramente bisseriados), de 30-450 microns e com 1-15 células de altura. Os traqueídeos radiais são inexistentes. As pontuações areoladas são raras nas paredes tangenciais dos traqueídeos do lenho tardio; quando ocorrem estão em fileiras duplas, disposição alternada, ligeiramente hexagonais e são menores as pontuações nas paredes radiais dos traqueídeos do lenho inicial são areoladas, em fileiras de 1-3, de forma hexagonal. Os campos de cruzamento apresentam 2-5 (podendo encontrar até 8) pontuações do tipo cupressóide com aberturas inclusas, elípticas, não lineares, com bordos distintos e largos (MAINIERI, CHIMELO e KAJYIA, 1974).

2.2. Histórico da dendrocronologia

A dendrocronologia, na Europa, teve seus primeiros registros escritos pelas observações de anéis de crescimento feitas por Leonardo da Vinci nos anos de 1452 a 1519. No entanto, já era sabido há gerações passadas através de informações transmitidas de pai para filho, que os anos extremamente secos ficavam registrados na forma de anéis de crescimento mais finos no lenho das coníferas, tomando possíveis a determinação da idade das árvores e a identificação dos anos mais secos. Atualmente, qualquer agricultor da região de Emmmental-Alemanha, sabe que o anel de crescimento mais fino do tronco das árvores dos últimos 50 anos, foi o do ano de 1947: neste ano a seca atingiu bicas e fontes de água, destruiu as colheitas e desfavoreceu o crescimento das árvores (SCHWEINGRUBER, 1983).

No entanto, o estudo dos anéis de crescimento se aprimorou e aprofundou após as contribuições na área anatomia da madeira e dos anéis de crescimento, feitas por Marcello Malphigi na Itália e Nehemiah Grew na Inglaterra no final do século XVI, e de início do XVII. Posteriormente, em 1718, Duhamel de Monceau localizou a região “produtora” de madeira (câmbio) nas árvores e, em 1770, John Hill editou o livro “The Konstruktion of the Timber” indicando, pela primeira vez, os lenhos outonal e primaveril.

Em 1859, Jacob Keuchler pesquisou espécies de árvores no Estado do Texas- EUA que pudessem mostrar períodos de seca em seus anéis de crescimento. Posteriormente, entre 1869-1901, Robert Harting publicou 34 trabalhos sobre anatomia e ecologia de anéis de crescimento e, em 1879, Reventlow iniciou trabalhos pioneiros com anéis de crescimento de espécies florestais na Dinamarca e, em 1917, Kaptei iniciou suas pesquisas com anéis de crescimento.

Os primeiros registros da utilização de raios X em madeiras - metodologia desenvolvida originalmente na medicina - foram proporcionados por Knox e Kayene, em 1920, publicando trabalhos sobre resultados das análises de hélices de madeira para aviões através dos raios X (RENTON, LANASA e TRYON, 1974). Nesse mesmo ano, na Escandinávia, Laitakari iniciou as pesquisas sobre anéis de crescimento, continuado por EIDE em 1926. Posteriormente, foi publicado por Maloy e Wilsey, o livro "X-Raing Trees", embora com uma nova técnica ainda não estava totalmente definida.

Nessa época já se sabia-se que os anéis de crescimento registravam as inúmeras influências externas no lenho das árvores, com a grande dificuldade de interpretação dos registros. Andrew Ellicott Douglass, grande pioneiro para a área da dendrocronologia, astrônomo, procurava provar a relação entre as manchas solares e variações de clima. Ao se deparar com dificuldades para obter registros climáticos contínuos e longos estudou as variações da estrutura dos anéis de crescimento, sabendo que nos anos de extrema seca as árvores produziam um anel de crescimento significativamente mais estreito. Assim, pode utilizar estas datações dos anéis de crescimento e sincronizar com seus registros de manchas solares. Posteriormente FÜRST, em 1963, também comparou resultados das avaliações dos anéis de crescimento das árvores com as variações climáticas do local de ocorrência. Mas, somente em 1963, POLGE(1966) desenvolveu o primeiro trabalho completo com a metodologia de raios X sendo, assim, o pioneiro desta nova técnica e que, juntamente com Bruno Huber, influenciou as linhas de pesquisa da dendrocronologia e climatologia, ao apresentar essa técnica. Outras contribuições foram proporcionadas por Echols e Worrall, em 1970, na Universidade British Columbia-Canadá. Sendo neste mesmo ano publicado outro trabalho de POLGE (1970) "The Use of X-Ray Densitometric Methods in Dendrochronology", o qual finalmente definiu esta metodologia de modo padronizado e que foi usada por outros pesquisadores do mundo, podendo comparar seus resultados.

Em 1976 foi publicado o livro "Tree Rings and Climate" de FRITTS (1976) dando uma grande base aos estudos e conhecimentos da área, seguido da apresentação do trabalho "Russian Papers on Dendrochronology and Dendroclimatology", por FLECHTER e LINNARD (1977).

Posteriormente, em 1983, SCHWEINGRUBER, descreve as características dos anéis de crescimento, técnicas e progressos em um novo livro "Der Jahring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie" que resumiu as fases da dendroclimatologia em pioneira, de desenvolvimento e de aplicação:

Fases	Áreas de pesquisa	Métodos
1. Pioneira	Climatologia Biologia florestal Astronomia	Medição de anéis de crescimento com lupa e/ou microscópio
2. Desenvolvimento	História Arqueologia	Máquinas para medição da largura dos anéis de crescimento
3. Aplicação	História Arqueologia Climatologia Geomorfologia	Máquinas para medição da largura dos anéis de crescimento Computadores Raios X Analisadores de imagem

Tabela 1. Fases da dendroclimatologia , segundo Schweingruber (1983).

2.3. O gênero Araucaria na Dendrocronologia.

A araucária tem sido uma espécie largamente estudada devido a sua área de ocorrência natural se estender por inúmeros estados brasileiros e pela qualidade e ampla utilização de sua madeira. Significativa parcela destes estudos aplica a análise dos anéis de crescimento, pela sua característica

marcante de formação de anéis anuais no lenho das árvores espécie. Os estudos têm sido direcionados para aspectos silviculturais, ecologia, inventário florestal, variação do fator de forma, produção de madeira, manejo florestal de populações nativas e plantações da espécie, dentre outros.

KISSIN, (1950) ao discutir sobre o crescimento das árvores de araucária mostra um esquema da seção transversal de um tronco de uma árvore de 10 anos, com 27 cm de diâmetro, com nítidos anéis de crescimento e apresenta gráficos de análise do tronco de 3 árvores, com crescimento em altura, diâmetro e volume de madeira.

HEINSDIJK (1959) e HEINSDIJK et al. (1960) afirmam que, para se obter um registro completo do crescimento das árvores de araucária, em altura e diâmetro, o melhor método é a análise do tronco, a qual consiste em derrubar árvores selecionadas, seccionar em discos a cada 1,5 m, preparar sua superfície e, após, contar e medir os anéis de crescimento.

REITZ e KLEIN (1966) ao analisarem árvores de araucária pela contagem e mensuração dos anéis de crescimento afirmaram que a idade média de um pinheiro adulto está entre 140 e 200 anos, raramente ultrapassando 300 anos.

MACHADO (1977) cita que a contagem dos anéis de crescimento possibilita a indicação da idade das árvores, sobretudo nas dominantes e co-dominantes, e que a análise de tronco pode ser utilizada com precisão para avaliar o desenvolvimento das árvores. Apresenta um estudo sobre o crescimento de florestas de araucária feito por SOARES et al. (s/d) que utilizam a análise dos anéis de crescimento a partir de corpos de prova extraídos de troncos das árvores com sonda de Pressler.

A técnica de análise de tronco, incluindo a contagem e mensuração dos anéis de crescimento foi empregada por DIETRICH (1977), para determinar o crescimento em altura das árvores dominantes em sítios e suas relações com dados analíticos de avaliação de solo e análise foliar.

De HOOG, DIETRICH e AHRENS (1978) utilizaram a técnica de análise de tronco em 52 árvores dominantes coletadas em 13 regiões para um sistema de classificação de sítios. Posteriormente, foram utilizados por BURGER et al. (1980) para estudar a dinâmica da forma das árvores.

Ao estudar a influência da dioicia no diâmetro e altura de araucária e implicações na formação de áreas de produção de sementes, na região de Quedas do Iguaçu-PR, PINTO (1979) utilizou a análise de anéis de crescimento através da coleta de amostras de madeira com trado de incremento. Mediu a largura dos anéis de crescimento dos últimos 3 anos, para verificar o incremento em diâmetro das árvores femininas e masculinas, após o início da produção de sementes.

CHYO et al. (1982) utilizaram a contagem e mensuração dos anéis de crescimento de araucária para, através da análise do tronco, construir as correlações entre a idade com o diâmetro, altura, área basal e volume. Os autores examinaram discos de madeira coletados a diferentes alturas do tronco de árvores de araucária, com 160 anos, nativa do Parque Estadual de Campos do Jordão-SP.

LAMPRECHT (1984) utilizou árvores de araucária para análises dendrocronológicas constatando que não apresentam anéis de crescimento íntegros e não existindo a possibilidade da sincronização. Também, segundo a autora, as variações de densidade não eram suficientemente abruptas, não demarcando com segurança os lenhos nos anéis de crescimento. Constatou em amostras (baguetas) não destrutivas de uma mesma árvore, zonas de alta definição de anéis de crescimento e com variação na densidade, sem variações características nos anéis de crescimento, dificultando a datação e com variações no número de anéis de crescimento. Verificou-se, porém, que existem amostras de madeira, coletadas de árvores diferentes, onde é possível a datação cruzada.

SEITZ (1986), correlacionou a altura, forma e dimensões da copa com a idade de árvores de araucária, utilizando da contagem dos anéis de

crescimento para a determinação da idade das plantas. O autor propôs uma relação entre a idade das araucárias com a forma de sua copa, sendo que as de forma parabolóide ou hemisféricas indicariam árvores vitais, enquanto que as de forma de taça indicariam árvores sérias, ou pouco vitais. Em posição intermediária estariam as araucárias de copas planas.

SEITZ (1988) apresenta inúmeros exemplos de aplicação de dendrocronologia na silvicultura, indicando resultados de séries de larguras de anéis de crescimento de 5 árvores de araucária. Demonstrou haver um incremento significativo de largura dos anéis de crescimento nas árvores de araucária remanescentes após o desbaste de uma plantação.

SEITZ (1991) apresentou uma série de aplicações da análise de anéis de crescimento na silvicultura de araucárias, como na determinação da dinâmica e estrutura de florestas naturais, relacionadas com a idade e taxa de crescimento na fase juvenil, características da copa e incremento radial, formação e poda dos galhos das árvores.

FRIEDEL et al. (1990) estudaram o comportamento da forma do tronco de árvores individuais de araucária, a partir da análise do tronco de 3 árvores, obtidas de povoamentos plantados na Floresta Nacional de Açungui-PR. Os autores avaliam o efeito da idade, sítio e posição sociológica sobre os fatores de forma do tronco das árvores de araucária.

Por outro lado, CARVALHO (1994) em revisão sobre a espécie, indica que, através dos anéis de crescimento, alguns autores afirmam que a araucária é uma árvore longeva, atingindo em média 140 a 250 anos, existindo exemplares de até 386 anos. Segundo BACKES (s/d) citado pelo autor, com base na contagem dos anéis de crescimento, a idade média de araucárias adultas, com diâmetros superiores a 1,50 m é de aproximadamente 300 anos.

NOGUEIRA e SEITZ (1990, a) empregaram a análise e mensuração de anéis de crescimento para estudar a influência da liberação da copa, no incremento em diâmetro de árvores de araucária, após a aplicação de

desbaste. Verificaram uma mudança abrupta na seqüência de largura dos anéis de crescimento com aumento considerável no incremento em diâmetro das árvores remanescentes.

NOGUEIRA e SEITZ (1990, b) estudaram a reação do crescimento radial de árvores de araucária, em diferentes tipos vitalidade e dimensão de copa, após corte seletivo de árvores em populações da espécie, através da análise dos anéis de crescimento. Demonstraram haver a produção de anéis de crescimento significativamente e mais largos após o corte seletivo principalmente em árvores cujas copas possuíam características de maior vitalidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de coleta das amostras de madeira

As amostras de madeira foram coletadas, no município de Arapoti-PR, em plantação de propriedade da Indústria de Papel Arapoti S.A. A plantação de araucária com 38,41 ha (Talhão 9) está localizada na Fazenda São Nicolau, que possui uma área total de 17.735 ha, com 8.767 ha de reflorestamento e o restante com pastagens e floresta nativa em regeneração. As coordenadas geográficas obtidas em 3 diferentes pontos, através do geoposicionador foram (i) **S** 24°12'660" / **W** 50°01'643"; (ii) **S** 24°12'720" / **W** 50°02'005" e (iii) **S** 24°12'641" / **W** 50°01'891"; e a altitude variando de 777,24 a 823,96 m.

3.2. Histórico da plantação de araucária

O solo foi preparado previamente com rolo faca e roçadeira e, após, feitas uma aração e duas gradeações. O plantio das mudas de araucária obtidas de sementes coletadas em uma plantação de Guarapuava-PR, foi feita partir de julho/1971, no espaçamento de 2,40 x 0,90 m com abertura de covas com escavadeira. Em novembro/1971 foi feita uma capina e limpeza manual sendo o combate às formigas realizado através de vistorias semanais. Em junho

de 1976 foi feita uma amostragem para verificação da porcentagem de sobrevivência e nos anos de 1991 a 1993 foram efetuados vários desbastes no talhão, não havendo registro de passagem de fogo no local durante o período de seu crescimento. O último registro de fogo na área foi em 1963.

Figura 2. Local de coleta das amostras de madeira de araucária no Município de Arapoti-PR.

3.3. Solo, topografia e clima

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro do tipo LEa2, rodeado por um Cambissolo do tipo Ca2. O relevo da área é suavemente ondulado. O clima é classificado como Cfa, com invernos secos e verões

chuvosos, podendo ocorrer geadas, segundo Köepen. As médias mensais de pluviosidade no período de 1971 indicam que o lenho inicial deve ser formado a partir do mês de agosto.

Figura 3. Aspecto geral do talhão de araucária, no qual foram coletadas as amostras de madeira.

3.4. Obtenção e preparo das amostras

O diâmetro e altura das árvores de araucária foram coletadas previamente para a classificação da população em indivíduos (i) Dominantes, (ii) Co-dominantes e (iii) Dominados. Os valores para DAP com casca, nessas

classes foram Dominante > 31,52, Co-dominante entre 31,51 - 21,50 e Dominada < 21,50 cm.

Figura 4. Pluviosidades médias mensais (mm/ano) no período de 1971 a 1995.

Figura 5. Temperaturas médias mensais (em °C) no período de 1971 a 1995.

Figura 6. Precipitação anual (mm) nos 25 anos de idade da plantação de araucária (julho a junho).

Em 14-15/08/96 foram selecionadas 3 árvores/classe de diâmetro e posteriormente cortadas, procurando evitar os menores danos possíveis para as suas copas.

Para cada uma das 9 árvores foi feita a medição do diâmetro (DAP), altura total e do tronco livre de ramos; separação dos ramos e folhas, procedendo-se a medição, contagem e avaliação da massa verde através de pesagem (Figura 7). As determinações do sexo das árvores foram efetuadas pela verificação da presença dos estróbilos femininos e masculinos, quando existentes.

Figura 7. Esquema de pesagem dos ramos das árvores de araucária amostradas.

De cada árvore foram retirados discos de madeira, com 5 cm de espessura, na base, DAP e a cada 2,40 m do tronco, até a altura comercial. Os discos de madeira foram transportados para o laboratório do Setor de Anatomia e Identificação de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, quando passaram pelo processo de secagem natural e, após, com desumidificador, para evitar o crescimento e desenvolvimento de fungos manchadores. Em condições de laboratório foram realizadas as medições do diâmetro e espessura da casca das amostras de madeira.

Os discos de madeira tiveram, em seguida, suas superfícies lixadas para a melhor visualização dos anéis de crescimento e dos defeitos da madeira (madeira de compressão, anéis perdidos, nós, etc.). Foram selecionados os melhores diâmetros para cada disco com base na morfologia dos anéis de crescimento e ausência dos defeitos enumerados e obtidas amostras de madeira com dimensões aproximadas de 3,0 x 1,0 cm (altura x espessura).

Essas amostras de madeira, previamente identificadas, foram novamente mantidas em condições de laboratório até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente. Em seguida, foram fixadas em guias de madeira e com equipamento de dupla serra circular foram obtidas amostras diametrais com espessura uniforme de 1,2 mm. Essas amostras diametrais foram separadas na região da medula, constituindo-se em 2 amostras radiais de madeira por árvore, identificadas com tinta nanquim, que não interfere nas radiografias. Estas foram uma vez mais condicionadas (temperatura, 21°C; período, 24 horas; umidade relativa, 25%) sendo então irradiadas em máquina de raios X, conforme descrito a seguir.

Figura 8. Demarcação e corte da amostra diametral em disco de madeira de árvore de araucária.

Figura 9. Demarcação e corte da amostra transversal com 1,2 mm de espessura, a ser irradiada, a partir da amostra diametral de madeira de araucária.

3.5. Radiografia das amostras de madeira (AMARAL, 1994)

3.5.1. O Equipamento de Raios X

Foi utilizado um equipamento de raios X da marca HEWLETT PACKARD, modelo FAXITRON 43805 N, com as seguintes características: equipamento totalmente blindado com paredes de chumbo, constituído por dois corpos que possuem prateleiras internas, possibilitando a variação da distância do objeto à fonte de raios X. O tubo termiônico de raios X é autoretificador e regulado para 3mA (miliamperagem). A voltagem é variável de 0 a 130 KVp (kilovoltagem). A janela de berilium (material pouco absorvente que permite a passagem do feixe de radiação mais intenso e rico em radiações de baixa freqüência) de 0,63 mm permite um completo espectro dos raios X mole. O material do ânodo é o tungstênio, que tem a finalidade de aumentar o rendimento do tubo. A maior distância possível da fonte de raios X ao objeto é de 121,92 cm, permitindo a completa cobertura de um filme de 36 x 43 cm,

com excelente resolução. O tempo de exposição pode variar de 0 a 5 minutos, com graduações de 0,1 minuto sendo que no presente trabalho optou-se pelo tempo de exposição de 5 minutos

3.5.2. O filme radiográfico

O filme radiográfico com o formato 24 x 18 cm, constituiu-se em boa opção para a pesquisa, considerando-se que (i) o limite superior deve ter uma dimensão que possibilite os trabalhos de processamento e que diminua a quantidade de produtos químicos utilizados nas cubas de processamento; (ii) deve, também, proporcionar uma homogeneidade da dose em toda a superfície da película (iii) o limite inferior deve possibilitar a disposição de um maior número possível de amostras.

O filme da marca KODAK, Diagnostic Film X-Omat XK1, com 24 x 18 cm, apresentou dentre os filmes testados, em radiografia de madeiras, excelente resolução. Esses filmes são produzidos pela Kodak brasileira e estão disponíveis no mercado em caixas com 100 películas, sem a individualização em envelopes.

3.5.3. A exposição dos filmes radiográficos

As variáveis que controlam a exposição dos filmes radiográficos são (i) tensão aceleradora no tubo (em KVp); (ii) corrente de aquecimento do cátodo (em mA) e (iii) tempo de exposição (em minutos).

A distância do objeto à fonte de raios X é também muito importante para se evitar erros de paralaxe na definição dos anéis de

crescimento e obter um campo de radiação homogêneo em toda película. Pelas características do equipamento HP Faxitron e após testes concluiu-se que as condições de regulagem do equipamento para obtenção de radiografias com bom contraste foram (i) tensão aceleradora no tubo: 16 KVp; (ii) corrente de aquecimento do cátodo: 3 mA; (iii) tempo de exposição: 5 minutos e (iv) distância do objeto à fonte de raios X: 121,92 cm (distância máxima do aparelho), para amostras de ***Pinus taeda*** com 3,2 mm de espessura.

As condições de exposição do filme foram modificadas, em função da espessura da amostra de madeira, sendo que no caso da ***Araucaria angustifolia*** é de 1,1 a 1,2 mm. Constata-se que quanto mais fina é a amostra, menor deverá ser a tensão utilizada e mais longo o tempo de exposição.

3.5.4. Exposição das películas

A exposição das películas deve ser feita em um ambiente completamente escuro para não haver perigo de velar o filme, que é muito sensível à luz. O aparelho de raios X encontra-se, portanto, em uma sala completamente vedada à entrada de luz.

As amostras de madeira a serem radiografadas foram colocadas sobre um suporte de madeira (mesa) recoberta com 2 camadas de acetato de celulose. Uma camada do acetato é fixada no suporte de madeira e a outra é apenas parcialmente fixada, permitindo a entrada do filme, que é colocado sem proteção entre as 2 camadas de acetato.

A mesa preparada com as amostras de madeira foi colocada dentro do aparelho de raios X. Com a sala totalmente escura, introduziu-se a película entre as camadas de acetato e acionou-se o aparelho. Após completada a exposição, os filmes foram colocados em caixas, tomando-se o

cuidado de impedir qualquer entrada de luz para a seguir serem processados e revelados.

3.5.5. Processamento radiográfico

É uma etapa muito importante e muito delicada do processo de análise, uma vez que, para uma mesma dose de radiação recebida, quaisquer superfícies distintas de um mesmo filme devem apresentar a mesma densidade ótica. Para isto é necessário que todos os cristais halogenados de prata da imagem latente, ou seja, portadores de traços de prata, tenham no mesmo momento, a mesma chance de serem reduzidos em prata metálica dentro do revelador. Uma agitação contínua, eficaz e irregular do banho do revelador foi necessária. Deve-se evitar que o produto usado repasse ciclicamente pelos mesmos lugares. Em nosso trabalho foi usada a mesma banheira plástica com vidro no fundo (para evitar arranhões nas películas) a agitação foi feita manualmente. O revelador utilizado foi o GBX-Kodak (revelador e reforçador).

Quanto a duração da revelação, sabe-se que (i) o contraste aumenta com a duração da revelação; (ii) os cristais halogenados de prata não irradiados sofrem igualmente, apesar que bem mais lentamente, uma redução, disto resulta um tenue escurecimento geral que se chama velamento e (iii) a granulação da imagem aumenta à medida que se prolonga a revelação.

A duração da revelação ótima para um filme radiográfico é, portanto, determinada pela relação contraste/densidade mais favorável.

3.5.6. Temperatura do revelador

A rapidez da revelação aumenta com a temperatura do revelador. Com temperaturas elevadas é necessário diminuir a duração, a fim de evitar um aumento do velamento e uma granulação muito forte. Ao contrário, se a temperatura de revelação é inferior a 18°C, a hidroquinona, elemento gerador do contraste, perde sua atividade. Por estas razões, trabalhou-se entre 18 e 22°C. A Tabela (2) foi adotada, fornecendo os tempos de processamento para o filme utilizado, sendo o tempo utilizado devido a temperatura o destacado na tabela abaixo.

Seqüência	Temperatura	Soluções KODAK
Revelador	20 a 21° C	± 3,5 min.
	21 a 23° C	± 3,0 min.
	23 a 24° C	± 2,5 min.
	24 a 25° C	± 2,0 min.
	25 a 26° C	± 1,5 min.
	26 a 27° C	± 1,0 min.
Enxágüe (Água Limpa)	± 20o C	20 segundos
Fixador	± 20° C	3 a 4 min.
	± 25° C	2 a 3 min.
Lavagem	5 minutos em água corrente	
Lavagem final	0,30 minutos em água destilada	

Tabela 2. Tempos e temperaturas para a revelação e fixação de filmes radiográficos, segundo KODAK.

3.5.7. Sequência do processamento radiográfico

O processamento foi feito em câmara totalmente escura onde foram preparados diversos banhos necessários. Inicialmente foram preparadas diversas cubas com os reagentes, a saber: (i) **Revelador**, o revelador foi preparado segundo as indicações do fabricante. A temperatura do mesmo foi medida e com base nesta temperatura optou-se pelo tempo de revelação segundo os dados da tabela. O filme introduzido nesta cuba foi agitado constantemente; (ii) **Banho interruptor** após a permanência no revelador, é indispensável impedir instantaneamente sua ação sobre toda a superfície do filme. Por isso, o filme foi mergulhado rapidamente em um banho interruptor contendo 2% de ácido acético para sustar a ação do revelador; (iii) **Lavagem** após o banho de parada o filme foi mergulhado em água limpa, para lavagem, com a finalidade de remoção de todo produto químico; (iv) **Fixador** após lavagem rápida o filme foi colocado no fixador durante 5 minutos, onde ele foi agitado durante pelo menos os 30 primeiros segundos. O fixador utilizado foi o GBX-Kodak - fixador e reforçador; (v) **Lavagem** o filme foi novamente lavado em água corrente durante no mínimo, 5 minutos, ou em água parada durante 25 minutos; (vi) **Lavagem com água destilada** esta etapa foi introduzida como melhoria da metodologia de AMARAL (1994) para evitar o aparecimento de sais sobre o filme após a sua secagem, para evitar as marcas de gotas d'água e (vii) **Enxágüe final com água destilada** o filme foi mergulhado num último banho contendo uma solução de Photo-FLO 200 Kodak, para melhorar a qualidade das radiografias, retirando a tensão superficial da água e fazendo com que ela escorra toda da película evitando o problema já descrito na etapa superior.

3.6. Análise das radiografias das madeiras (AMARAL, 1994)

3.6.1. O microdensitômetro Joyce Loebel MK III-C

É um aparelho que, sob forma de diagrama, registra as variações de densidade ótica ao longo de um caminho sobre a radiografia. Trata-se de um verdadeiro sistema de feixe duplo de luz, no qual ambos os feixes provenientes de uma fonte luminosa única são dirigidos alternativamente para um único fotomultiplicador após ter atravessado, uma radiografia e o outro um cunha ótica. Esta consiste de uma peça de vidro retangular e alongado, cuja coloração varia linearmente de uma extremidade a outra. Ela é movida por um servomotor conduzido pelo fotomultiplicador em caso de desigualdade de intensidade dos dois feixes luminosos.

Um sistema de registro foi acoplado aos movimentos da cunha. À medida que a radiografia se desloca na presença do raio luminoso ela arrasta a mesa de registro num relação de velocidade escolhida pelo usuário (1/1, 2/1, 5/1, 10/1, 20/1 ou 50/1), graças a uma ligação mecânica regulável. Este movimento da cunha segundo o eixo dos Y dão um diagrama que representa as variações de densidade ótica ao longo de um caminho reto escolhido na radiografia.

A zona analisada, sob a qual a luz é concentrada por um condensador, pode ser reduzida a dimensões ínfimas, da ordem de micron, pelo jogo de uma abertura final (fenda de exploração), que fixa a largura e a altura após aumento obtido pela passagem através de uma objetiva.

A radiografia foi colocada sobre uma mesa porta-amostra podendo se deslocar num plano segundo suas direções perpendiculares e segundo um movimento de rotação. A amplitude destes movimentos é

controlada por nnios de $0,1\mu$. Isto permite posicionar a amostra de maneira que o raio luminoso a explore exatamente segundo seu eixo.

Duas regulagens (diafragma e fenda) permitem reduzir o feixe de luz que deve atravessar a superfície a ser analisada. Após a regulagem do condensador e da objetiva,  necessário regular a abertura da fenda de explorao. As dimensões desta fenda dependem do tipo de amostra, do tipo de filme e, finalmente, do propósito perseguido.

3.6.2. Dimensões da fenda de leitura no sentido radial e tangencial

Com relao às dimensões no sentido radial (largura) quanto menor for a largura, maior  a precisão no que diz respeito às variações da densidade ótica. Entretanto, receia-se que os resultados sejam distorcidos por causa das microvariações de escurecimento devido as irregularidades de granulação das radiografias, Neste trabalho optou-se por uma abertura de 0,2mm de largura, diferente da utilizada por AMARAL (1994) que foi de 0,1mm.

Com relao às dimensões no sentido tangencial (altura)  interessante que ela seja suficientemente grande para a obtenção de um registro das variações médias de densidade em diversas filas de células. AMARAL (1994) adotou uma altura de 0,3 mm e em casos de madeira muito heterognea, pode-se usar uma altura de 0,8 a 1,6 mm. Para o este trabalho optou-se por uma dimensão de fenda de 1,5 mm que foi regulada de acordo com a largura dos anéis de crescimento, para que não ocorresse o sobreposicionamento da fenda de leitura sobre 2 diferentes lenhos, como exemplificado na Figura 10, analisando 2 lenhos de um anel de crescimento, simultaneamente.

Figura 10. Sobreposição da fenda de leitura do microdensitômetro analisando 2 lenhos de um anel de crescimento, simultaneamente.

As dimensões da fenda devem ser modificadas em função do tamanho da circunferência dos elementos que constituem a madeira para observar as variações de densidade e não as variáveis de estrutura anatômica. Quanto maiores os elementos mais importantes tornam-se as dimensões da fenda. Quando os anéis são muito estreitos a largura da fenda deve ser reduzida até um mínimo no qual o lenho tardio e o lenho inicial não sejam integrados. Neste caso, abertura de fendas de 0,03 a 0,06 mm parecem ser ideais, segundo POLGE (1966).

3.6.3. Calibração

Os diagramas obtidos através do microdensitômetro permitem observar as variações de densidade de uma amostra, mas não permitem quantificar a densidade absoluta de um ponto qualquer da curva, porque é necessário calibrar cada radiografia através da colocação de pelo menos duas amostras homogêneas de densidades diferentes e conhecidas. Entretanto, é praticamente impossível encontrar pedaços de madeira bruta que tenham densidades suficientemente homogêneas para servir de base de comparação.

Na prática, a solução encontrada por diversos pesquisadores foi a utilização de padrões fabricados com materiais que tivessem um coeficiente de absorção de massa igual ao da madeira e, por consequência, uma composição química muito próxima dela.

Dentre os diversos materiais testados, aqueles que mais se aproximaram da madeira foram o Kematol e o acetato de celulose. Embora o Kematol dê um resultado mais preciso, ele é mais difícil de ser encontrado, sendo o acetato de celulose mais utilizado, sendo também, adotado como metodologia em nosso laboratório.

A confecção do padrão ou cunha de calibração, pode ser feita de duas maneiras, (i) através da trabalhabilidade muito precisa de um bloco de acetato cuja espessura decresce linearmente de uma extremidade a outra, (ii) através da superposição de um número de folhas de acetato cujo comprimento diminui exatamente de 1,0 ou 2,0 cm quando se passa de um degrau para o degrau superior. Diversas cunhas foram feitas, para se adaptar às variações de densidade das amostras a serem analisadas. Optamos pela cunha denominada de "N", a qual se encontrava dentro da variação de densidades das amostras de araucária.

Para o trabalho de AMARAL (1993) foi utilizada uma cunha de acetato de celulose (Rhodophane 400) tendo o aspecto de uma escada com 12 degraus. O primeiro é constituído de duas folhas de 0,12 mm de espessura, os degraus de 2 a 12 possuem cada um uma espessura de 2 folhas a mais que o precedente. A gramatura (g/m^2) do acetato foi calculada através de medições e pesagens, chegando-se a um valor de $157,5 \text{ g/m}^2$. A partir deste valor calculou-se a gramatura para cada degrau da cunha, que dividido pela espessura da amostra fornece a densidade da madeira. Este procedimento foi feito baseando-se numa equação (a) aceita em densitometria de raios X, onde $x_a \cdot d_a = x_m \cdot d_m$ e portanto:

$$d_m = \frac{x_a \cdot d_a}{x_m} \text{-----(a)}$$

onde:

x_a = espessura do acetato de celulose;

d_a = densidade do acetato de celulose;

x_m = espessura da madeira;

d_m = densidade da madeira

Equação 1. Equação para o cálculo da densidade da madeira com a densidade radiótica obtida no filme de raios X.

Elaborou-se com auxílio do software Analysis a tabela que fornece os valores em g/dm^3 da densidade da madeira em função da espessura das amostras radiografada e do número do degrau da cunha de calibração de rhodophane 400, que apresenta o mesmo escurecimento. Esta tabela foi baseada na nova espessura utilizada nas amostras deste trabalho.

A cunha de calibração radiografada juntamente com as amostras de madeira de araucária forneceu os pontos necessários para o cálculo dos índices “a” e “b” da curva de calibração, necessários para a transformação da densidade ótica em densidade real da madeira. Ela serviu também para compensar qualquer variação na intensidade da exposição ou processamento do filme de radiografia.

Figura 11. Gráfico da cunha de calibração e o da amostra C1, mostrando a compatibilidade da variação da cunha com a variação radiótica da amostra de madeira e um pedaço de leitura sobre o filme mostrando a regularidade da radiação sobre o filme.

3.6.4. Fator de correção

Adotou-se a fórmula $x_a d_a = x_m d_m$, partindo-se da premissa de que o acetato de celulose é idêntico à madeira no que diz respeito a absorção de raios X pois os resultados utilizados deste trabalho visam a correlação entre as densidades da madeira das árvores coletadas. Entretanto, isto não é verdadeiro, porque a densidade real volu-gravimétrica (determinada através da relação entre peso e volume) é sempre menor que a densidade radiótica (densidade da madeira obtida através da densidade ótica). Desta forma, é preciso corrigir a densidade radiótica. Para tanto, é necessário determinar a densidade radiótica de algumas amostras assim como a sua densidade volu-gravimétrica.

$$\frac{\text{média da densidade volu-gravimétrica}}{\text{média da densidade radiótica}} \text{-----(b)}$$

Equação 2. Cálculo do fator de correção da densidade radiótica pela densidade volu-gravimétrica.

A relação nos dará um fator de correção que é empregado, seja para corrigir os valores dos degraus da cunha, desta forma utilizando-se a fórmula:

$$d_m = \frac{x_a \times d_a \times f}{x_m} \text{----- (c)}$$

Equação 3. Equação utilizada para a correção dos valores da cunha de calibração.

ou então, utilizar o fator diretamente nos dados de densidade radiótica, obtidos com os degraus da cunha sem correção.

3.6.5. Definição de lenho tardio

A definição do lenho tardio é um problema fundamental nos estudos de densidade intra-anel, e muitos autores concordam que não existe uma definição adequada e universal dos limites entre o lenho tardio e o lenho inicial. No caso do trabalho de AMARAL (1994) foi fixado um nível único de 500 g/dm³ para a separação do lenho tardio do inicial para todas as amostras, por ser um

nível utilizado para coníferas. Neste trabalho, após a análise visual das amostras e a dos gráficos de densidade, definiu-se um nível único de 700 g/dm^3 .

3.6.6. Sistema Computacional

A saída dos dados de leitura do filme de raios X do densitômetro é diretamente lida e registrada por um microcomputador. O sistema computacional foi desenvolvido no Laboratório de Métodos Quantitativos do Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP e é dividido em dois sistemas auxiliares: **READ** para a coleta, visualização e armazenamento dos dados, e o **ANALYSIS**, responsável pelo tratamento dos dados, ou seja, a estimativa dos parâmetros de regressão, determinação das características de cada lenho inicial e tardio e (densidades, dimensão dos lenhos e do anel de crescimento) e a densidade ponderada para a amostra. Para a elaboração dos gráficos pela planilha excel utilizou-se o programa **REDUTOR**, o qual diminui o tamanho dos dados de forma a poderem ser processados pela planilha excel, cujo limite é de 3999 dados (pontos) para gráficos.

a. O sistema READ

Este sistema é responsável pela coleta das informações de densidade ótica que é gerada pelo microdensitômetro e cuja comunicação fica por conta de uma porta de comunicação paralela, modificada para estabelecer este protocolo.

Este sistema tem como funções a comunicação entre o microcomputador e o microdensitômetro. Define-se a distância a ser percorrida pela mesa do microdensitômetro para leitura informando o sistema **READ**. Iniciou-

se a leitura, sendo os vetores armazenados no disco rígido do microcomputador, e simultaneamente é plotado um gráfico no monitor para que se possa fazer o acompanhamento da leitura da densidade radiótica. Após a leitura de uma amostra pode-se armazenar os vetores dando um nome para arquivá-los. Além destas funções possui algumas outras adicionais, como a leitura da cunha padrão de calibração que é utilizada para a transformação dos valores de densidade lida em densidade real.

b. Sistema ANALYSIS

Este sistema é responsável pelo setor mais importante do sistema computacional deste método de estudo. Toda a base de cálculo, transformações de dados de densidade lida em densidade radiótica utilizando valores conhecidos do padrão de acetato de celulose, ajustes, estimativas marcação do início e no final de cada lenho no anel de crescimento, elaboração de gráficos além de gerar todas as informações que posteriormente foram submetidas às análises, como (i) índice de crescimento; (ii) porcentagem de lenho inicial e tardio; (iii) densidade média da amostra; (iv) densidade média de cada anel e (v) densidade de cada lenho.

c. Sistema REDUTOR

Trata-se de um programa elaborado para redução do número de dados lidos pelo microdensitômetro, eliminando 1 a cada 5 dados lidos, permitindo a utilização da planilha excel, cujo número de pontos máximo para a elaboração de gráficos é de 3999 pontos. Programa escrito na linguagem C .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dimensões das árvores de araucária amostradas.

As dimensões e demais características das árvores de araucária amostradas, nas 3 classes de diâmetro, são apresentadas na Tabela 3 e Figuras 12 e 13.

Padrão	Árvore (n°)	Sexo	DAP c/ casca (cm)	Altura (m)			Peso dos ramos+acículas (kg)
				Total	Tronco	Copa	
Dominante	A3	♀	36,60	19,50	10,40	9,10	796,50
	B3	♀	40,42	20,50	13,00	7,50	388,00
	C1	♂	31,51	19,05	13,45	5,60	285,50
<i>média</i>			36,17	19,68	12,28	7,40	490,00
Co-dominante	A1	♂	21,96	18,00	14,08	3,92	324,00
	B2	♂	23,55	18,66	14,90	3,76	265,50
	C2	-	27,37	16,76	14,00	2,76	188,00
<i>média</i>			24,29	17,81	14,33	3,48	259,17
Dominada	A2	♂	19,73	18,40	16,95	1,45	304,00
	B1	-	20,05	13,90	12,00	1,90	111,80
	C3	-	21,32	13,70	12,60	1,10	3,00
<i>média</i>			20,36	15,33	13,85	1,48	139,60
média geral			83,56	17,61	13,49	4,12	296,26

Tabela 3. Dimensões das árvores de araucária amostradas, pertencentes aos 3 padrões.

Figura 12. Peso dos ramos e acículas das árvores de araucária.

Figura 13. Altura total das árvores de araucária e altura do início dos ramos no tronco.

A análise da Tabela 3 demonstra que, das árvores amostradas, 4 são masculinas e 2 são femininas, sendo que nas 2 árvores dominadas e em 1 co-dominante não foram verificadas a presença de amentos ou estróbilos. Inúmeros autores destacam que a araucária é uma espécie dióica e , portanto, apresenta árvores femininas e masculinas. Levantamentos em populações naturais não desbastadas revelam uma proporção estatisticamente significativa de 52,4% de árvores masculinas para 47,6% de femininas (BANDEL e GURGEL, 1967; CARVALHO, 1994). A ausência de amentos ou estróbilos em árvores dominadas e co-dominantes pode ser resultado da competição promovida pelas árvores das classes superiores, seja por luz, água e nutrientes, considerando a araucária uma espécie. Nesse aspecto essencialmente heliófita (IMAGUIRE, 1979), ou heliófita na fase adulta nesse aspecto, CARVALHO (1994) enfatiza que a araucária em povoamentos abertos inicia a produção de sementes a partir dos 20 anos.

Com referencia aos parâmetros altura total, do tronco e da copa e peso dos ramos verifica-se que, em termos de média, as árvores do padrão dominante apresentam valores superiores, seguindo-se as co-dominantes e dominadas, (Tabela 3, Figuras 12 e 13). Essa estratificação é comumente encontrada em populações florestais, incluindo as de araucária, resultado da competição entre as árvores iniciada nos primeiros anos de crescimento, conforme destaca SEITZ (1991).

O maior peso dos ramos e acículas das árvores de araucária da classe dominante e co-dominante, que apresentam suas copas expostas à luz foi observado, em condições juvenis, para essa espécie, por INOUE e TORRES (1979). Os autores obtiveram maior produção de matéria seca da parte aérea de plantas com 9 meses de idade em condições de plena luz e de 71 a 45% à medida que o índice de luminosidade decresceu, houve uma diminuição no peso total de matéria seca, mais acentuadamente nos níveis de 6 a 2 %. Isso

demonstra uma adaptação fisiológica da espécie às condições lumínicas do ambiente, ratificando as conclusões de INOUE et al. (1979)

4.2. Arquitetura das árvores de araucária

A arquitetura da copa das árvores de araucária amostradas, nas 3 classes de diâmetro, são apresentadas nas Figuras 14, 15 e 16. Verificam-se diferenças marcantes com referencia ao número e comprimento dos ramos com acículas que apresentam relação com a altura da copa e peso dos ramos (Tabela 3). A forma de copa típica das árvores adultas de araucária pode ser observada somente nas árvores dominantes, com os ramos basais mais longos, atingindo 4-5 m de comprimento em relação aos apicais, com 1 a 2 m de comprimento (Figura 14). Essa distribuição e dimensões dos ramos conferem a forma de taça caliciforme, estratificada pela presença de ramificações em pseudo-verticilos, descrita por inúmeros autores (MATTOS, 1972; MACHADO, 1977).

A copa das árvores co-dominantes apresentam uma redução significativa no comprimento e número dos ramos com acículas basais, com 2-4 m de comprimento e apicais, com até 1 m de comprimento (Figura 15). Alterações mais significativas foram observadas nas árvores dominadas, com redução do número e do comprimento dos ramos com acículas basais e apicais, com 1-2 e até 1 m, respectivamente. Essas árvores foram as que apresentaram menor peso de galhos (Tabela 3) e as alterações na arquitetura das suas copas são, na realidade, resultado da intensa competição com as árvores dos estratos superiores.

Com respeito à formação da copa e características das acículas, INOUE e TORRES (19979) afirmam que em condições de ambiente aberto as araucárias apresentam morfologia heliófita, com acículas largas, coriáceas, de coloração verde-escura e verde amarelo, com uma grande densidade de acículas

inseridas no ramos dos grossos. Por outro lado, segundo os mesmos autores, nos nichos sombreados a planta apresenta morfologia umbrófila, com acículas estreitas, delgadas, de coloração verde-acinzentado uniforme, com poucas acículas inseridas em ramos finos e pendentes. Esses aspectos estão bastante evidentes nas Figuras 14 a 16, que representam a arquitetura da copa das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada, respectivamente, com reflexos no peso de ramos e acículas (Tabela 3).

A arquitetura da copa das árvores adultas com copa alta e sem ramos laterais na maior parte do tronco de araucária, incluindo-se sua casca espessa é, segundo SOARES (1979), indicativo de espécie dependente do fogo para a sua regeneração natural, que pode ser induzida pela prática do fogo controlado. No estágio adulto as árvores apresentam 5 a 10 cm de espessura de casca podendo, portanto, suportar altas temperaturas externas sem que o câmbio seja submetido a temperaturas letais. A forma peculiar da árvore adulta torna, também, inviável o crestamento das acículas por radiação do calor originado dos incêndios superficiais. As análises mais detalhadas sobre a morfologia, desenvolvimento da copa das árvores de araucária, bem como sua influência no crescimento radial após o corte seletivo de árvores da espécie foram realizados por SEITZ (1986, 1988, 1991) e NOGUEIRA e SEITZ (1990, a,b).

4.3. Características dos anéis de crescimento das árvores de araucária.

A imagem do positivo da radiografia das seções transversais das amostras de madeira das árvores de araucária é apresentada na Figura 17. A análise da imagem possibilita identificar os lenhos inicial (claro) e tardio (escuro) dos anéis de crescimento para as amostras de árvores dominantes, co-dominantes e dominadas. Além dos anéis anuais de crescimento são também identificados, em algumas amostras, em determinados anos, a presença dos

falsos anéis de crescimento. O contraste dos lenhos inicial e tardio é resultado da alteração diferenciada dos raios X, pela densidade desses lenhos, revelada pelo filme radiográfico e sua imagem positiva. A descrição da estrutura microscópica da madeira de araucária, feita por ARANHA PEREIRA (1933), AZAMBUJA (1948), ARANHA PEREIRA e MANIERI, (1949), PRIMO (1968), COZZO E COZZO (1974), COZZO (1974), MANIERI, CHIMELLO e KAJIYA (1974), reporta a presença de traqueídeos com parede espessa e pequeno lume no lenho tardio e com parede larga e maior lume no lenho inicial. Através da imagem do positivo (Figura 17) ou diretamente na seção transversal previamente polida das amostras de madeira, pode-se determinar a idade das árvores (número de anéis de crescimento) e sua taxa de crescimento (espessura dos anéis de crescimento). Essa segunda metodologia - análise da seção transversal - tem sido intensamente utilizada nos estudos de araucária com finalidades de inventário florestal, produção de madeira, silvicultura, bio-ecologia da espécie, dendrocronologia, etc. KISSIN, (1950), REITZ e KLEIN (1966), MACHADO (1977), PINTO (1979), LAMPRECHT (1984), SEITZ (1986), CARVALHO (1994), NOGUEIRA e SEITZ (1990, a). O uso da imagem radiográfica (filme de raios X) ou seu positivo constituem-se, dessa forma, em uma segunda alternativa para essa linha de pesquisa com araucária, a exemplo do utilizado por AMARAL (1994) e AMARAL e TOMAZELLO F^o (1997) para madeira de *Pinus taeda*.

Figura 14. Arquitetura das árvores de araucária dominantes.

Figura 15. Arquitetura das árvores de araucária co-dominantes.

Figura 16. Arquitetura das árvores de araucária dominadas.

4.4. Variação da densidade da madeira, no sentido radial, das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam as variações dos valores de densidade ótica, no sentido medula-casca, das amostras de araucária das 3 classes de diâmetro e suas respectivas seções transversais. Os gradientes de densidade ótica são obtidos pela leitura do filme de raios X das amostras de madeira no microdensitômetro . Posteriormente, os valores de densidade ótica são transformados em densidade da madeira, a 12% de umidade, conforme descrito em 3.6.

Os perfis de densidade ótica permitem obter importantes informações sobre a dinâmica de crescimento da espécie e relação com arquitetura e dimensões de copa e variações climáticas, a resposta a tratamentos silviculturais, a homogeneidade da madeira, presença de falsos anéis de crescimento e demais informações.

Apesar da metodologia de densitometria de raios X ter sido desenvolvida por POLGE há mais de 30 anos (POLGE, 1970) foi encontrado somente uma publicação sobre a sua aplicação com madeira de araucária na literatura, LAMPRECHT (1984) analisou amostras de madeira de araucária coletadas de populações da espécie em Campos do Jordão-SP, no laboratório de Anéis de Crescimento do Instituto Federal de Pesquisa Florestal - Suíça, Trata-se , portanto, da segunda pesquisa desenvolvida com a espécie e a primeira no Brasil.

Figura 17. Positivo da radiografia das amostras de madeira de árvores de araucária, das classes de diâmetro dominante, co-dominante, dominante e cunha de calibração.

Analisando as variações, de densidade e espessura dos anéis de crescimento apresentados para 2 amostras de madeira por LAMPRECHT (1984) verificam-se semelhanças aos gráficos das Figuras 18 a 20. As árvores da classe dominante apresentam maiores incrementos anuais nos anos iniciais com pequena redução nos últimos anos, à exceção da árvore C1. Nas classes co-dominante e dominada, ao contrário, verificam-se 2 fases de crescimento distintas: a primeira com taxas de crescimento mais altas, seguida de uma redução significativa da espessura dos lenhos, consequência do estabelecimento de competição pelos fatores de crescimento (luz, água, sais minerais, etc. ...). A estratificação da população ocorre, dessa forma, já nos primeiros anos, quando as árvores dominantes iniciam a formação da copa e de sistema radicular que originarão as plantas mais desenvolvidas, em comparação com as das demais classes. As diferenças na massa e características da copa das árvores das 3 classes foram apresentadas na Tabela 3 e Figura 14 a 16. Dessa forma, a maior atividade fisiológica das árvores dominantes promovem o maior estímulo dos meristemas apical e cambial, com reflexos na altura/diâmetro e nas características dos anéis de crescimento e da própria madeira.

4.5. Variação dos valores médios de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Os valores médios de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento das árvores de araucária das 3 classes de diâmetro são apresentadas nas Figuras 21 e Apêndice C. As variações obtidas demonstram que a madeira de araucária mostra pequenas variações, com uma uniformidade no sentido medula-casca. Para a densidade média máxima dos anéis de

crescimento os valores obtidos estão incluídos na faixa de 0,90-0,55 g/cm³, com menores variações na árvore dominante, em relação as co-dominadas e dominada. Para a densidade média mínima os valores são de 0,30-0,50 g/cm³, com menores valores e variações para as árvores da classe dominante. Essas variações para as densidades máxima e mínima dos anéis anuais de crescimento estão compreendidas dentro da faixa de variação obtida por LAMPRECHT (1984) para as árvores de araucária procedentes de Campos do Jordão-SP, indicando similaridade para essa característica, em comparação às árvores analisadas em Arapoti-PR.

Com relação à densidade média da madeira dos anéis de crescimento os valores estão restritos à faixa de variação de 0,40 - 0,60 g/cm³, com pequenas flutuações ao longo da orientação medula-casca e sem diferenças significativas observadas entre as árvores das 3 classes de diâmetro. Esses valores somente podem ser comparados com os dados de densidade básica da madeira, obtidos pelos métodos gravimétricos, por AMARAL et al. (1971 a, b), ROLIM e FERREIRA (1974) e TOMAZELLI (1979), que observavam um aumento dos valores de densidade de 0,37 -0,47 (medula) para 0,48 a 0,54 g/cm³ (casca). Essas variações caracterizam a presença de madeira juvenil, próxima à medula e adulta, próxima à casca, não identificadas nitidamente nas amostras avaliadas pela metodologia de atenuação de raios X. Face à escassez de dados a respeito dessas variações há necessidade da condução de novas análises com árvores de diferentes idades, coletadas em diversos locais e práticas de manejo.

4.6. Variação dos valores médios de densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Os valores médios de densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento das árvores de araucária das 3 classes de diâmetro são apresentados na Figura 22 e Apêndice D . As variações encontradas são, de certa forma, as mesmas para os demais valores de densidade dos anéis de crescimento. Os lenhos tardios pela sua composição e estrutura anatômica apresentam valores de densidade mais elevados do que os lenhos inicial para todas as classes de diâmetro e anos. Com relação ao lenho tardio os valores, de modo geral, estão localizados entre 0,50 - 0,60 g/cm³, com as árvores da classe co-dominante mostrando valores entre 0,60 - 0,70 g/cm³ até aproximadamente o ano de 1983. A mesma tendência é observada nos anos iniciais e finais das amostras de madeira das árvores dominantes.

Em relação ao lenho inicial, para as árvores das 3 classes de diâmetro os valores de densidade média localizam-se na faixa de 0,40 - 0,50 g/cm³, com exceção aos anos iniciais. Nas árvores dominantes os valores estão próximos ao limite inferior da faixa, ou seja, a densidade de 0,40 g/cm³. As variações encontradas indicam, a exemplo dos demais parâmetros de densidade, que a madeira das árvores de araucária mostra uma uniformidade no sentido medula-casca.

A3

B3

C1

Figura 18. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária dominantes.

B2

C2

Figura 19. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária co-dominantes.

B1

C3

Figura 20. Variação da densidade da madeira no sentido radial das árvores de araucária dominadas.

Figura 21. Variação dos valores médios de densidade máxima, mínima e média, dos anéis de crescimento das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Figura 22. Variação dos valores médios de densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

4.7. Variação da largura média dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Os valores de variação da largura média dos lenhos inicial e tardio e dos incrementos anuais radiais das árvores de araucária das 3 classes são apresentados na Figura 23 e Apêndice E.

Pela análise das Figuras 23 e 25 verifica-se um aumento progressivo no incremento da largura dos anéis de crescimento a partir dos anos iniciais, atingindo valores máximos no período compreendido entre 6-11^o anos em função da classe das árvores de araucária. As da classe dominante atingiram as suas maiores taxas de crescimento nos anos iniciais desse período, ao contrário, das árvores dominadas que apresentam suas maiores taxas nos anos finais do período. As árvores co-dominantes mostram comportamento intermediário. Verifica-se, também, diferenças significativas para os valores de incrementos anuais nesse período, com as árvores das classes dominante, co-dominante e dominante apresentando acréscimos de 15, 10 e 7,5 mm/ano, respectivamente.

Da mesma forma, esse período é caracterizado pela formação de maiores porcentagens de lenho inicial, em relação ao lenho tardio, nos anéis anuais de crescimento, com valores de 36,28 e 27%, para as árvores das classes dominante, co-dominada e dominada, respectivamente.

As pesquisas com silvicultura de araucária reportam, em função do espaçamento de plantio, o início da competição entre as árvores pelos fatores de crescimento a partir do 6^o ano. Nesse período as árvores da população apresentam uma estratificação de diâmetro e de dimensões de copa, havendo a possibilidade de classificá-las nas 3 classes, dominante, co-dominante e dominada. Esses resultados são corroborados por GURGEL F^o (1979) e GURGEL et al. (1982), que verificam a estagnação do crescimento das árvores

de araucária em espaçamentos de 1,5 x 1,5 m, a partir do 3º ano da implantação do experimento

Os resultados da competição pelos fatores de crescimento pelas árvores de araucária, a partir desse período de maiores taxas de crescimento, são claramente definidas na Figura 23, sendo caracterizados pela redução da largura dos anéis de crescimento, e aumento da porcentagem de lenho tardio no anel de crescimento em relação ao lenho inicial. Essa redução do crescimento é mais nítida nas árvores dominadas, seguindo-se as co-dominantes e as dominantes. Os valores de largura dos anéis de crescimento, no período de maior competição, estão em torno de 7, 2 e 1,5 mm para as árvores das classes dominante, co-dominante e dominada. O período que vai até o corte das árvores é caracterizado por oscilações na largura dos anéis de crescimento, sendo verificadas, novamente, fases com acréscimos na largura: 18-20º e 22-25º anos, em função da classe de diâmetro das árvores. As árvores da classe dominante apresentam uma reação em crescimento mais precoce e com maiores valores, em relação às dominadas. Essa reação das árvores da população é devida a aplicação de desbastes e/ou mortalidade de árvores de araucária, proporcionando a liberação dos fatores de crescimento para que, em seguida, estabeleça-se novamente a competição entre as plantas. A fase final é caracterizada pelas menores taxas de crescimento radial, com valores de 5, 2 e 1 mm para as árvores das classes dominante, co-dominante e dominada, respectivamente. Os valores, em porcentagem, de lenho tardio, para essas 3 classes são de 28, 50 e 50. Esses dados indicam a necessidade de nova intervenção na população, assegurando o crescimento das árvores, sob risco de ocorrer elevada mortalidade ou auto-desbaste. As árvores da classe dominante apresentam dimensões e morfologia da copa típicas da espécie atingindo os níveis superiores da floresta, ao contrário, das dominadas que apresentam um pequeno desenvolvimento e copa bastante reduzida (Figura 12 e 13 , Tabela 3). Dessa forma, conforme salientado por SEITZ (1991), as árvores dominantes com

copas mais vigorosas têm maior atividade do câmbio e, em consequência, produzem anéis de crescimento mais largos em relação às co-dominantes e dominadas, com copa mais reduzida e menos vigorosas.

Com relação a largura dos anéis de crescimento os valores obtidos estão entre as variações, indicadas na literatura por inúmeros autores. NOGEIRA e SEITZ (1990, a) indicam crescimentos da ordem de 0,7 a 1 mm na largura dos anéis de crescimento de árvores sob regime de competição e de 4 a 6 mm após o corte seletivo de árvores, com conseqüente liberação da copa das árvores remanescentes. O mesmo autor (SEITZ, 1991) reporta que as árvores dominantes têm taxas de crescimento 3 vezes maiores do que as suprimidas na ordem de 2,0 , 0,7 e 0,6 mm/ano, respectivamente.

4.8. Valores de densidade média da madeira das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Os valores de densidade média da madeira , a 12% de umidade, das árvores de araucária das 3 classes são apresentados na Figura 24 e Tabela 4.

Verificam-se a variações nos valores de densidade dentro e entre as classes de diâmetro das árvores de araucária, com as da classe dominante apresentando o valor médio inferior à das demais classes. AMARAL (1994) e AMARAL e TOMAZELLO F^o (1997) ao analisarem a madeira de *Pinus taeda*, com metodologia similar, afirmam que a densidade média da madeira dessa conífera é resultado da % de lenhos inicial e tardio e da espessura da parede e da largura/diâmetro do lume dos traqueídos da espécie. Considerando que a madeira das árvores de araucária tem uma estrutura anatômica típica das coníferas, similar à madeira de pinus, essas variações encontradas podem ser,

Figura 23. Variação da largura média dos lenhos inicial e tardio, dos anéis de crescimento, das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

da mesma forma, justificadas pela dimensões/freqüência dos traqueídeos de lenho inicial/tardio em araucária.

Figura 24. Valores de densidade média da madeira das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

As informações disponíveis na literatura sobre valores de densidade da madeira de árvore de araucária são bastante escassas, apesar de sua ocorrência natural no Brasil e elevada qualidade da madeira. FOEKEL et al. (1971) ao analisarem os métodos de determinação da densidade básica de cavacos de madeira de araucária obtiveram valores médios de $0,42 \text{ g/cm}^3$. Por outro lado, AMARAL et al. (1971,a,b) ao analisarem a densidade básica da madeira de árvores de araucária de sexos feminino e masculino obtiveram valores com variações de $0,43 - 0,50 \text{ g/cm}^3$. Posteriormente, ROLIM e FERREIRA (1974) determinaram valores de densidade básica de $0,37 - 0,52 \text{ g/cm}^3$, para a madeira juvenil e adulta, respectivamente.

TOMASELLI (1979) apresentou valores de $0,44 \text{ g/cm}^3$ para a densidade básica da madeira e casca de árvores de araucária, com 18 anos de idade. O peso específico aparente (12%) da madeira das amostras da base das árvores foi de $0,47 - 0,54 \text{ g/cm}^3$, para a madeira juvenil e adulta, respectivamente,

Figura 25. Variação dos valores de incrementos radiais das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Padrão	Densidade da madeira (g/dm³)
Dominante	397,91
	559,53
	473,18
Co-dominada	476,87
	443,29
	473,93
	658,94
Dominada	525,39
	443,98
	447,36
	646,52
	512,62

Tabela 4. Valores de densidade média da madeira das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

com valores médios de 0,50 g/cm³; sendo menores na altura da metade do tronco, com variações de 0,36 - 0,44 g/cm³, para a madeira juvenil e adulta. AZAMBUJA (1949) reportou valores de peso específico aparente (15% umidade) de 0,54 g/cm³, enquanto CARVALHO (1982) apresentou valores de densidade média de 0,60 g/cm³. Posteriormente o autor, CARVALHO (1982) indicou valores de massa específica aparente (15% de umidade) da madeira de araucária de 0,50 - 0,61 g/cm³ e densidade básica da madeira de 0,42 - 0,48 g/cm³.

Dessa forma, valores de densidade média da madeira de araucária de 0,48, 0,53 e 0,50 g/cm³, para as árvores das classes dominante, co-dominante e dominada, estão compreendidos entre os apresentados na literatura. As diferenças existentes são devido a origem do material, local de amostragem no tronco, idade das árvores, condições de crescimento, dentre outros fatores que podem afetar a densidade da madeira de árvores de araucária.

5. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

-as árvores de araucária apresentam dimensões e arquitetura da copa diferenciadas em função da sua classe - dominante, co-dominante e dominada - resultado da competição pelos fatores de crescimento no interior da população,

-a idade das árvores de araucária pode ser determinada pelo exame dos filmes de raios X e pela imagem do seu positivo, pelo nítido contraste existente entre os lenhos inicial e tardio, além da análise dos gráficos de variação de densidade dos anéis de crescimento no sentido medula casca,

-os valores de densidade intra e inter anéis de crescimento, mostram que a madeira de araucária apresenta uma uniformidade no sentido radial, com algumas variações em relação ao parâmetro de densidade analisado, classe da árvore e período de crescimento,

-os valores de largura dos lenhos inicial e tardio e dos anéis de crescimento mostram diferenças significativas para as classes de árvores de araucária, estando relacionados com a arquitetura e dimensões de suas copas, competição pelos fatores de crescimento e regime de manejo na população,

-a metodologia de densitometria de raios X mostrou-se potencial para estudos relacionados com a dendrocronologia, dinâmica do crescimento e qualidade da madeira de árvores de araucária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. C. B. Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo., Piracicaba 1993, 143 p.

AMARAL, A. C. B. ; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda*, através de microdensitometria de raios X. In: MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 4., Poços de Caladas, 1997. **Programas e resumos.**,1997, p.202.

AMARAL, A. C. B.; et al. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sentido medula-casca em árvores do sexo masculino e feminino. **IPEF**, n. 2/3, p. 119-127, 1971.

ARANHA PEREIRA, J. A identificação micrográfica de nossas madeiras, (IPT. Boletim, 9). São Paulo; **IPT**, 1933.

ARANHA PEREIRA, J. ; MANIERI, C. Madeiras do Brasil. Instituto Nacional do Pinho, 1949. In: Separata de Anuário Brasileiro de Economia Florestal, n. 17, p. 282, 1965.

AZAMBUJA, D. O Pinheiro Brasileiro *Araucaria angustifolia* ficha dendrológica. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 1, n. 1, p. 365-369, 1948.

- BANDEL, G. ; GURGEL, J. A. A. Proporção do sexo em *Araucaria angustifolia*. **Silvicultura** , v.6, p. 209-220, 1967.
- BURGER, D. ; HOSOKAWA, R.T.; MACHADO, S. A. Desenvolvimento da forma de *Araucaria angustifolia*. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS ON GENUS ARAUCARIA,1., Curitiba: FUPEF, 1980. p. 382.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações, silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Curitiba: EMBRAPA, CNPF, 1994. p. 640.
- CHYO, M. ; AOKI, H. ; HAGA, N. Análise do tronco de *Araucaria angustifolia* nativa do Parque Estadual de Campos do Jordão-SP. In: Congresso Nacional de Essências Nativas, Campos do Jordão, , 1982. **Anais**. p. 919- 927.
- COZZO, D. ; COZZO, S. A. Variação dimensional de *Araucaria angustifolia*. **Revista Florestal Argentina**. V. 18, n. 3, p. 76-83, 1974.
- COZZO, S. A. Correlacion entre longitud de traqueídeos y diversas situaciones de crescimento em plantações de *Araucaria angustifolia*. **Revista Florestal Argentina**,v. 18, n. 2, p. 37-40, 1974.
- DE HOOG, R. J. ;DIETRICH, A. B.; AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume e produção de povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal** v. 9, n.36, p. 58-82 , 1978.

- DIETRICH, A. B. Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de crescimento de *Araucaria angustifolia*. Curitiba, 1977, 78 p., Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
- EINOT, I. ; GABRIEL, K.R. A study of the powers of several methods of multiple comparisons. **Journal of the American Statistical Association**, v.70, p. 574-583, 1975.
- FLECHTER, J. ; LINNARD, W. Russian papers on dendrochronology and dendroclimatology. Oxford: Oxford University Press, 1977. 142 p.
- FOEKEL, C. E. B. ; BRASIL, M.A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n 2/3, p. 65-74, 1971.
- FRIEDEL, R. A. ; HOSOKAWA, R. T. ; MACHADO, S. A.; KIRCHNER, F. F.. Estudio de la dinamica de la forma de arboles individuais de *Araucaria angustifolia*, em plantaciones de Acungui, Eldorado, Paraná-Brasil, **Yvyrareta**, , v.1, n. 1, p. 93-110, 1990.
- FRITTS, H. C. Tree rings and climate. London; Academic Press, , 1976. 567 p.
- FÜRST, O. Vergleichende Untersuchungen über räumliche und zeitliche Unterschiede interannueller Jahringbreitenschwankungen und ihre klimatologische Auswertung. **Flora**, v. 153 , p. 469-508, 1963.

GURGEL FILHO, O. A. Silvica da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.
In: IUFRO MEETING OF FORESTRY PROBLEMS OF GENUS
ARAUCARIA. 1., Curitiba: FUPEF, 1980, p. 382.

GURGEL FILHO, O. A. ; MORAES, J. L. ; GURGEL GARRIDO, L. M. A.
Silvicultura de essências indígenas sob povoamentos homóclitos
coetâneos experimentais. IX. Pinheiro Brasileiro (*Araucaria
angustifolia* (Bert.) O. Ktze.). In: CONGRESSO NACIONAL DE
ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão, 1982. **Anais**. p. 884-889.

HEINSDIJK, D. Volumes do pinheiro. **Anuário Brasileiro de Economia
Florestal** v. 11, p. 176-199, 1959.

HEINSDIJK, H. O pinheiro brasileiro em Santa Catarina; dados e
conclusões de um inventário florestal. **Anuário Brasileiro de
Economia Florestal**. v. 12, n.12, p. 91-158, 1960.

HUECK, K. Distribuição e habitat natural do Pinheiro do Paraná
(*Araucaria angustifolia*)., São Paulo: Faculdade de Filosofia, 1953. 24
p. (Boletim 156).

IMAGUIRE, N. Condições ambientais para a *Araucaria angustifolia*.
Dusenía, v. 7, n. 3, p. 121-127, 1979.

INOUE, N. T.; GALVÃO, F.; TORRES, D. V. Estudo eco-fisiológico sobre
Araucaria angustifolia: fotossíntese em dependência à luz do estágio
juvenil. **Floresta**, v. 10, n 1, p. 5-9, 1979.

- JACOBY, G. C. Growth rings in tropical trees. In: CONF. ON AGE AND GROWTH RATE DETERMINATION I TROPICAL, São Paulo, 1988. Proceedings. **IWA Bulletin**, v.10, n. 2, p. 99-108, 1989.
- JOLY, A. B. **Botânica**: Introdução a taxonomia vegetal, 2. ed. - São Paulo: Ed. Nacional, EDUSP, 1975. 777 p.
- KISSIN, I. Crescimento e produção do pinheiro brasileiro. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 3, n. 3, p. 429-477, 1950.
- LAMPRECHT, M. A. Dendroklimatologische Untersuchungen in Südamerika, **Birmensdorf WSL**, v.263, p. 57-8, Juli 1984.
- MACHADO, S. A. Estimativa do diâmetro de copa e idade do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) em ambiente natural. **Brasil Florestal**, v. 8, n.31, p. 24-29, 1977.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo : IPT , Divisão de Madeiras, 1989. 420 p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; KAJIYA, S. Densidade básica e características anatômicas da madeira do pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert) O. Kuntze) de povoamento artificial da região de Capão Bonito-SP. São Paulo: IPT, 1974. 27 p. (IPT, Publicação, 1016).
- MATTOS, J. R. O pinheiro Brasileiro. Curitiba: Grêmio Politécnico, 1972. 648 p.

NOGUEIRA, A. C. ; SEITZ, R. A. Análises temporais da largura de anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze . In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, , 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1990., v. 3, p 84-91, 1990 a .

NOGUEIRA, A .C. ; SEITZ, R. A. Reação de crescimento radial da *Araucaria angustifolia* em florestas secundarias. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, CAMPOS DO JORDÃO, 6., 1990. **Anais**. São Paulo; SBS, SBEF, 1990 b . v. 3, p 586-591. 1990 b .

PINTO, S. A. Influência da dioicia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kzte., Iguaçu-PR. Curitiba , 1979. 122 p. Dissertação (Mestrado), - Universidade Federal do Paraná.

POLGE, H. Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants - Applications dans les domaines technologique et physiologique. **Annales des Sciences Forestières**, v. 23, n. 1, p. 206. 1966.

POLGE H. The use of X-ray densitometric methods in dendrochronolgy, **Tree Ring Bulletin**, v. 30: n. 1/4, p. 78 . 1970.

PRIMO, B. L. Madeiras comerciais brasileiras, , São Paulo: IPT, 1968.

REITZ, P. R.; KLEIN, R. M. ; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina, Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 320 p.

- REITZ, P. R. ; KLEIN, R. M. Flora Ilustrada Catarinense. *Araucariáceas*. Curitiba: CNPQ / Departamento de Recursos naturais Renováveis. 1966.
- RENTON, J. J. ; M. J. LANASA ; TRYON, E. H. Radiography for observing wood features. **Journal of Forestry**, v. 72, n. 5, p. 292-293 , 1974.
- ROLLIM , F. Variação da densidade básica da madeira de *Araucaria angustifolia*, em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, n. 9, p.47-55, 1974.
- SCHWEINGRUBER, F. H., Der Jahring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie , Bern: WSL , 1983. 230 p.
- SEITZ, R. A. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural enviromment during sixty years, In: Fujimori, T.; Whitehead, D. (Ed.) Ibaraki: Forestry and Forest Products Research Institute. p. 129-145, 1986.
- SEITZ, R. A. A utilidade da dendrocronologia na silvicultura. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, Curitiba, 1988. **Anais**. Curitiba, UFPR, 1988. p. 130-140.
- SEITZ, R. A. Avanços na silvicultura de *Pinus* sp e *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: O

DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS, Curitiba, 1971. **Anais**.
Curitiba: UFPR; IUFRO, 1991. p. 153-176.

SEITZ, R. A. ; KANNINEN, M. Dendrocronology of *Araucaria angustifolia* in Southern Brasil: preliminary results. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 55-61, 1988.

SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. In: IUFRO MEETING OF FORESTRY PROBLEMS ON GENUS ARAUCÁRIA, 1., Curitiba: FUPEF., 1979 , p.173-176.

TOMAZELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus spp.* produzida em reflorestamentos In: IUFRO MEETING OF FORESTRY PROBLEMS ON GENUS ARAUCÁRIA, 1., Curitiba: FUPEF., 1979.

TOMAZELLO FILHO , M. Databock on endangered tree and shrub species and provenances. *Araucaria angustifolia*, Pinheiro-do-Paraná. FAO, ROMA, p. 69-83, 1986.

APÊNDICE

APÊNDICE - A. Índices pluviométricos de 1970 a 1995 na região de Arapoti-PR

Ano	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
							256	177	196	121	122	131	
1.971	183	25	119	118	80	257	359	427	146	183	51	47	1995
1.972	208	200	319	288	104	178	521	208	185	74	203	147	2635
1.973	95	221	114	216	88	405	396	60	276	53	98	314	2336
1.974	3	101	37	232	111	305	154	267	113	71	38	86	1518
1.975	92	65	87	363	242	280	308	137	160	98	194	116	2142
1.976	129	285	163	180	240	150	345	155	164	123	33	168	2135
1.977	61	50	123	131	224	299	103	108	289	3	102	40	1533
1.978	259	44	213	96	187	233	98	114	135	39	241	13	1672
1.979	108	142	246	220	150	228	443	405	126	204	63	129	2464
1.980	148	127	223	67	120	371	135	71	59	123	32	58	1534
1.981	18	20	35	210	94	247	49	160	138	14	72	263	1320
1.982	124	34	31	205	290	259	161	87	171	143	243	288	2036
1.983	44	3	198	111	60	181	83	53	63	63	89	18	966
1.984	53	94	126	37	96	839	49	83	93	103	86	15	1674
1.985	32	16	50	71	130	51	175	244	200	148	194	2	1313
1.986	21	175	59	72	107	286	171	284	35	52	288	164	1714
1.987	57	32	117	100	119	110	88	133	127	100	300	59	1342
1.988	0	0	57	109	40	184	320	177	139	37	22	95	1180
1.989	122	51	119	85	74	142	423	61	46	140	155	99	1517
1.990	283	162	162	131	95	35	203	125	281	123	72	106	1778
1.991	22	36	105	103	84	249	70	130	186	150	232	20	1387
1.992	35	48	82	167	123	74	205	223	108	88	93	101	1347
1.993	60	18	189	62	80	115	182	108	54	85	75	108	1136
1.994	33	0	9	74	156	188	358	169	142	114	42	88	1373
1.995	92	29	158	128	32	145							584

mm/mes

APÊNDICE - B. Variação dos valores da densidade da madeira e da espessura dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento das árvores de araucária.

A3	Anel	Densidade			Espessura do Lenho			Densidade Média		CV
		(g/dm3)			(0,01mm)			Lenho (g/dm3)		
		(no)	Mínima	Maxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	
73	1	201	454	371	1322	126	1448	364.11	437.59	31.95
74	2	314	452	365	720	56	776	361.04	422.75	32.47
75	3	369	615	441	284	224	508	399.77	492.73	19.57
76	4	314	510	374	1238	274	1512	355.26	459.44	28.66
77	5	334	521	392	1240	370	1610	368.59	468.49	26.96
78	6	320	612	381	944	280	1224	354.85	468.77	26.99
79	7	301	534	352	1078	128	1206	335.47	495.25	31.29
80	8	309	510	356	1178	110	1288	344.98	473.89	32.01
81	9	295	677	374	1086	272	1358	343.90	494.37	27.99
82	10	334	452	379	588	254	842	361.43	419.84	24.44
83	11	329	637	394	744	190	934	373.68	473.20	27.88
84	12	335	521	406	520	316	836	374.51	456.65	21.77
85	13	342	628	416	408	152	560	385.66	495.93	25.50
86	14	377	615	431	342	132	474	407.02	493.48	25.25
87	15	316	591	400	272	172	444	364.63	456.35	21.44
88	16	340	612	421	330	210	540	388.02	473.89	21.39
89	17	369	600	420	348	104	452	394.20	506.60	26.95
90	18	303	615	390	486	146	632	355.77	501.97	26.91
91	19	340	579	411	622	202	824	381.81	499.98	26.42
92	20	340	556	441	392	540	932	384.99	481.90	14.72
93	21	362	534	409	670	390	1060	388.84	443.15	22.12
94	22	347	650	448	576	286	862	413.66	517.35	23.39
95	23	386	720	476	450	226	676	426.68	573.79	23.30
96	24	443	681	497	392	222	614	461.35	558.95	22.35
Média=		398 g/dm3			Compri mento		total=	21612	0,01mm	

B3	Anel	Densidade (g/dm ³)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm ³)		CV
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
72	1	278	637	510	54	54	108	431.37	589.19	17.50
73	2	492	955	693	72	102	174	526.86	810.69	14.48
74	3	695	1057	860	342	198	540	795.06	973.01	22.17
75	4	523	864	646	1592	702	2294	638.60	663.32	24.29
76	5	542	833	638	910	1072	1982	574.89	691.12	16.07
77	6	523	851	655	802	1044	1846	584.94	709.70	15.21
78	7	521	899	644	442	540	982	556.55	716.00	15.75
79	8	425	637	503	712	450	1162	464.38	564.84	21.45
80	9	392	654	469	874	450	1324	429.09	547.17	23.10
81	10	386	695	483	676	414	1090	431.99	566.95	21.71
82	11	427	591	487	334	450	784	441.37	521.26	14.91
83	12	400	654	473	540	298	838	435.03	540.70	22.55
84	13	408	677	486	372	302	674	432.06	553.40	19.32
85	14	434	695	541	298	208	506	489.95	614.75	20.61
86	15	454	654	528	450	216	666	496.57	592.12	23.65
87	16	392	603	458	586	234	820	430.34	528.00	25.01
88	17	354	542	409	874	108	982	399.75	486.91	31.15
89	18	356	705	483	432	258	690	419.95	589.48	21.91
90	19	402	720	497	488	240	728	448.13	596.62	23.46
91	20	427	691	515	380	282	662	459.82	590.43	20.09
92	21	427	691	512	442	414	856	454.77	572.82	18.07
93	22	483	800	580	370	270	640	513.31	671.64	20.23
94	23	521	833	598	396	270	666	556.09	660.32	20.81
95	24	503	886	609	370	180	550	544.41	741.33	23.55
96	25	588	817	675	90	72	162	623.80	738.28	19.44
Média=		560 g/dm ³			Comprimento total=			21726	0,01mm	

C1	Anel	Densidade			Espessura do Lenho			Densidade Média		CV
		(g/dm3)			(0,01mm)			Lenho (g/dm3)		
		(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	
73	1	284	625	499	144	108	252	450.90	563.91	20.00
74	2	492	705	569	1126	306	1432	556.13	615.59	27.52
75	3	463	691	503	604	126	730	485.97	585.95	28.96
76	4	349	695	466	1018	288	1306	431.50	588.35	27.28
77	5	364	723	475	828	334	1162	425.45	598.85	24.94
78	6	402	723	506	576	342	918	454.02	592.95	21.96
79	7	394	695	473	586	188	774	441.28	573.20	26.50
80	8	377	567	425	532	126	658	408.57	492.67	28.30
81	9	362	720	452	438	154	592	407.63	577.97	25.90
82	10	386	681	451	356	136	492	411.68	552.72	25.33
83	11	394	600	476	124	108	232	433.50	524.26	18.71
84	12	371	654	451	398	90	488	427.89	551.78	28.55
85	13	371	667	449	314	90	404	413.66	572.22	27.20
86	14	402	637	465	308	84	392	440.93	555.05	27.50
87	15	369	628	446	328	100	428	416.49	540.72	26.82
88	16	335	615	415	304	80	384	381.91	542.77	27.71
89	17	369	579	432	192	72	264	403.45	508.81	25.45
90	18	362	513	411	180	84	264	389.34	456.36	23.86
91	19	347	628	429	268	108	376	386.49	534.24	24.95
92	20	335	681	446	390	162	552	388.11	583.83	24.73
93	21	349	677	441	378	136	514	395.70	567.68	25.74
94	22	386	723	477	302	172	474	414.60	586.98	22.30
95	23	384	650	453	288	102	390	412.69	566.43	25.85
96	24	402	738	494	176	92	268	432.27	613.52	22.99
Média=		473 g/dm3			Compri mento total=			13746 0,01mm		

A1	Anel	Densidade			Espessura do Lenho			Densidade Média		CV
		(g/dm ³)			(0,01mm)			Lenho (g/dm ³)		
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
74	3	354	615	451	500	180	680	423.39	528.96	25.74
75	4	334	600	430	558	234	792	391.41	523.01	24.66
76	5	314	553	396	968	276	1244	364.70	504.54	27.23
77	6	314	579	401	936	254	1190	370.24	514.76	27.53
78	7	364	691	441	528	312	840	390.51	527.14	22.00
79	8	340	720	429	586	198	784	385.58	556.27	26.16
80	9	347	654	419	522	180	702	383.71	520.43	26.03
81	10	309	654	401	492	180	672	359.84	513.24	25.63
82	11	309	695	425	380	160	540	376.25	542.45	24.63
83	12	349	510	415	132	68	200	392.05	460.74	23.10
84	13	354	677	466	164	172	336	389.57	538.31	17.08
85	14	402	542	458	80	56	136	428.27	501.11	20.59
86	15	379	637	471	156	104	260	425.15	540.29	21.00
87	16	334	625	454	100	72	172	389.96	542.97	20.35
88	17	400	579	490	56	64	120	432.36	539.50	16.33
89	18	410	579	475	92	64	156	436.46	530.28	20.64
90	19	377	473	419	64	36	100	404.53	444.56	22.40
91	20	356	612	456	116	60	176	404.40	555.67	23.07
92	21	410	813	558	128	120	248	462.83	660.37	18.06
93	22	452	796	558	240	144	384	493.74	664.93	21.88
94	23	427	833	528	460	154	614	478.53	676.96	26.22
95	24	427	784	527	184	148	332	460.87	609.15	19.40
96	25	410	612	486	92	52	144	441.17	565.96	22.36
Média=		443 g/dm ³			Compri	mento	total	10822	0,01mm	

B2	Anel	Densidade (g/dm ³)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm ³)		CV
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
73	1	219	641	437	378	126	504	394.87	565.10	26.25
74	2	503	749	582	204	152	356	529.87	651.82	20.06
75	3	492	765	551	370	144	514	514.90	645.32	25.19
76	4	473	650	556	238	402	640	503.13	587.30	13.02
77	5	377	681	472	684	324	1008	427.96	564.81	23.75
78	6	419	677	491	442	288	730	451.06	552.04	21.19
79	7	377	677	483	450	316	766	434.75	550.63	20.56
80	8	377	705	444	472	180	652	402.96	552.94	25.34
81	9	347	677	425	468	156	624	386.63	540.13	26.25
82	10	371	600	440	324	96	420	417.94	513.65	27.00
83	11	364	521	412	224	44	268	397.83	482.18	29.25
84	12	386	480	422	88	52	140	405.41	450.31	22.00
85	13	356	565	444	88	76	164	389.00	508.53	18.78
86	14	419	500	452	96	52	148	436.54	481.38	22.70
87	15	443	654	513	66	90	156	458.09	553.89	14.81
88	16	402	588	472	144	100	244	442.49	515.64	20.66
89	17	377	534	415	298	72	370	402.56	466.06	28.19
90	18	309	641	390	234	72	306	345.68	533.31	26.76
91	19	377	523	434	86	50	136	403.00	488.04	22.13
92	20	473	705	568	54	72	126	494.56	623.78	15.00
93	21	392	664	491	108	136	244	437.26	534.46	15.49
94	22	386	600	475	104	68	172	432.10	539.79	21.16
95	23	349	664	469	180	92	272	417.14	571.24	23.16
96	24	379	612	470	100	72	172	426.74	529.25	20.35
Média=		474 g/dm ³			Compri mento total			9132 0,01mm		

C2	Anel	Densidade (g/dm3)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm3)		CV
Ano	(no)	Minima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
73	1	691	868	785	180	198	378	767.64	800.75	16.67
74	2	588	738	642	282	84	366	635.48	661.76	26.97
75	3	637	796	690	48	64	112	639.21	728.94	15.00
76	4	664	955	792	108	216	324	686.33	845.24	11.67
77	5	523	1063	670	648	216	864	605.07	864.71	26.25
78	6	565	829	659	712	518	1230	611.19	724.88	20.26
79	7	443	1057	609	770	694	1464	492.05	739.29	18.41
80	8	531	1268	769	432	432	864	571.16	966.41	17.50
81	9	628	817	694	236	132	368	652.94	767.53	22.45
82	10	720	1249	926	108	216	324	764.31	1006.09	11.67
83	11	603	1176	872	270	306	576	765.83	965.46	16.41
84	12	417	904	521	390	196	586	455.77	650.70	23.29
85	13	454	510	475	100	60	160	462.32	495.50	21.88
86	14	480	691	541	90	126	216	490.22	576.60	14.58
87	15	473	641	539	108	90	198	499.70	585.67	19.09
88	16	503	720	559	126	104	230	509.48	619.54	19.17
89	17	480	650	547	126	162	288	495.75	586.32	15.31
90	18	473	734	590	90	108	198	513.07	653.50	15.91
91	19	461	691	548	162	144	306	487.84	615.50	18.53
92	20	490	637	538	126	90	216	503.46	586.58	20.42
93	21	471	542	499	72	46	118	484.22	521.61	21.36
94	22	510	591	549	40	72	112	516.00	566.86	12.50
95	23	531	628	575	36	64	100	539.83	594.91	12.60
96	24	500	588	540	56	60	116	525.43	554.17	16.90
Média=		659 g/dm3			Compri mento total			9714	0,01mm	

A2	Anel	Densidade (g/dm ³)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm ³)		CV
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
73	1	384	565	453	150	120	270	407.57	510.38	19.44
74	2	377	492	418	300	70	370	410.23	450.29	28.38
75	3	379	480	433	360	90	450	427.22	456.40	28.00
76	4	377	500	434	200	180	380	404.41	467.32	18.42
77	5	362	667	447	666	322	988	405.27	532.26	23.59
78	6	246	556	403	990	262	1252	378.46	493.91	27.68
79	7	295	503	385	988	198	1186	366.02	479.62	29.16
80	8	327	695	418	558	216	774	375.41	527.16	25.23
81	9	342	641	415	382	170	552	375.73	504.41	24.22
82	10	342	615	404	438	124	562	376.63	501.23	27.28
83	11	301	612	374	508	96	604	347.34	513.19	29.44
84	12	329	637	415	210	98	308	356.50	541.08	23.86
85	13	354	490	400	96	40	136	372.38	467.20	24.71
86	14	347	565	427	88	48	136	385.09	503.83	22.65
87	15	327	615	423	144	72	216	372.63	523.42	23.33
88	16	386	463	415	76	32	108	399.24	452.44	24.63
89	17	402	523	439	60	36	96	409.83	487.28	21.88
90	18	356	480	398	152	48	200	384.22	439.67	26.60
91	19	320	452	362	104	48	152	332.98	426.21	23.95
92	20	354	427	388	100	44	144	377.76	411.77	24.31
93	21	377	445	408	28	26	54	383.57	434.62	18.15
94	22	408	521	449	54	42	96	416.56	491.62	19.69
95	23	419	576	473	184	186	370	431.49	514.74	17.41
96	24	454	567	500	64	144	208	458.06	519.22	10.77
Média=		443 g/dm ³			Compri	mento	total	9612	0,01mm	

B1	Anel	Densidade (g/dm ³)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm ³)		CV
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
73	1	342	734	549	60	72	132	421.80	655.22	15.91
74	2	480	650	555	68	44	112	517.09	614.68	21.25
75	3	510	695	599	60	120	180	527.50	634.45	11.67
76	4	425	545	470	164	64	228	452.51	514.06	25.18
77	5	473	628	547	48	136	184	493.29	566.16	9.13
78	6	379	483	421	140	56	196	417.81	428.21	25.00
79	7	384	615	475	208	288	496	411.61	521.19	14.68
80	8	356	600	425	868	306	1174	388.66	527.61	25.88
81	9	356	765	423	826	298	1124	391.88	509.70	25.72
82	10	347	641	437	474	248	722	385.72	534.82	22.98
83	11	364	705	451	450	300	750	398.97	530.01	21.00
84	12	349	650	414	416	164	580	377.55	505.60	25.10
85	13	335	628	412	250	84	334	372.19	530.88	26.20
86	14	392	654	455	230	118	348	414.81	532.76	23.13
87	15	356	565	432	164	104	268	390.41	498.60	21.42
88	16	408	454	428	40	32	72	420.25	437.50	19.44
89	17	392	579	461	56	64	120	402.07	513.19	16.33
90	18	402	534	457	70	84	154	425.34	483.64	15.91
91	19	443	463	457	32	36	68	453.00	461.44	16.47
92	20	434	650	520	32	68	100	445.25	555.74	11.20
93	21	402	473	425	48	20	68	419.96	435.40	24.71
94	22	436	473	449	26	26	52	439.54	458.92	17.50
95	23	400	463	434	32	40	72	413.88	450.55	15.56
96	24	386	500	436	44	52	96	406.68	460.85	16.04
Média=		447 g/dm ³			Compri	mento	total	7630	0,01mm	

C3	Anel	Densidade (g/dm ³)			Espessura do Lenho (0,01mm)			Densidade Média Lenho (g/dm ³)		CV
Ano	(no)	Mínima	Máxima	Média	Inicial	Tardio	TOTAL	Inicial	Tardio	(%)
74	1	612	800	708	144	396	540	775.21	683.48	9.33
75	2	531	817	639	342	498	840	573.35	683.58	14.25
76	3	565	637	595	120	92	212	582.47	610.72	19.81
77	4	553	829	643	328	324	652	580.47	705.54	17.61
78	5	545	833	620	622	306	928	574.91	711.67	23.46
79	6	531	681	581	234	190	424	551.34	617.97	19.32
80	7	612	881	752	120	150	270	698.93	793.77	15.56
81	8	565	922	669	252	234	486	601.79	741.67	18.15
82	9	576	695	614	120	78	198	587.15	655.95	21.21
83	10	615	864	721	108	100	208	685.96	758.98	18.17
84	11	556	650	594	98	52	150	578.04	624.12	22.87
85	12	565	784	671	80	94	174	638.15	698.87	16.09
86	13	503	864	614	162	144	306	529.69	708.76	18.53
87	14	588	868	698	126	126	252	641.68	753.86	17.50
88	15	531	851	645	144	118	262	583.13	721.39	19.24
89	16	553	691	605	70	48	118	567.54	660.79	20.76
90	17	612	784	696	26	90	116	648.85	709.62	7.84
91	18	521	765	630	108	78	186	570.89	712.56	20.32
92	19	553	664	608	80	30	110	592.77	649.20	25.45
93	20	628	749	682	32	50	82	636.50	711.12	13.66
94	21	531	720	606	88	52	140	562.27	678.81	22.00
95	22	600	650	625	34	24	58	612.06	643.75	20.52
96	23	612	709	667	30	56	86	649.67	676.00	12.21
Média=		647 g/dm ³			Compri	mento	total	6798	0,01mm	

APÊNDICE - C. Variação dos valores de densidade máxima, mínima e média dos anéis de crescimento das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada.

Classe Dominante

Classe Co-dominante

Classe Dominada

APÊNDICE - D. Variação dos valores de densidade média dos lenhos inicial e tardio, dos anéis de crescimento, das árvores de araucária da classe dominante, co-dominante e dominada.

Classe dominante.

Classe co-dominante.

Classe dominada.

APÊNDICE - E. Variação da largura dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento, das árvores de araucária das classes dominante, co-dominante e dominada

.

Classe dominante.

Classe co-dominante.

Classe dominada