

ALEXANDRE BERNARDI KOEHLER

MODELAGEM BIOMÉTRICA E MORFOMETRIA EM POVOAMENTOS JOVENS DE
Araucaria angustifolia (Bert.) KTZE., EM TIJUCAS DO SUL, ESTADO DO PARANÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de “Doutor em Engenharia Florestal”.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Coraiola

CURITIBA

2009

BIOGRAFIA

Alexandre Bernardi Koehler nasceu em Curitiba no dia 28 de maio de 1973. É filho de Enedi Célice Bernardi Koehler e Waldir Koehler. Coursou o ensino fundamental e médio no Colégio Nossa Senhora Medianeira, nesta cidade. Ingressou no Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal do Paraná em 1991 graduando-se em 1996. Durante dois anos, de 1996 a 1998 foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq, participando do projeto “Técnicas Alternativas de Manejo para a Floresta Ombrófila Mista” sob orientação dos professores Carlos Roberto Sanquetta e Sylvio Péllico Netto, da Universidade Federal do Paraná. O ano de 1998 marcou a entrada na carreira docente, iniciando suas atividades da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como Professor da disciplina de Silvicultura, no Curso de Agronomia. No mesmo ano iniciou seu mestrado na Universidade Federal do Paraná, tendo concluído em 2001 a dissertação intitulada “Floresta Ombrófila Densa Altomontana: Aspectos florísticos e estruturais em diferentes trechos da Serra do Mar Paranaense”, sob orientação do Prof. Dr. Franklin Galvão. Em 2005 ingressou no curso de doutorado em Engenharia Florestal, na Universidade Federal do Paraná, sob orientação do professor Rudi Arno Seitz (*in memoriam*). Durante o ano de 2007 foi bolsista do CNPq, tendo passado 10 meses na Universidade Albert Ludwigs, na cidade de Freiburg, Alemanha, trabalhando no *Instituts für Waldwachstum*, sob orientação do Prof. Dr. Heinrich Spiecker. Em 2008 reassumiu suas atividades docentes na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, nos Cursos de Engenharia Florestal, Agronomia e Biotecnologia. No mesmo ano o Prof. Sylvio Péllico Netto assumiu a orientação para a conclusão da presente tese.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade da vida, da saúde, da lucidez, minha e de meus pais.

Agradeço a minha adorável esposa, Luciana Ricci Salomoni, companheira tão atenta e confiante na conclusão deste trabalho.

Agradeço pela minha família, meu pai Waldir, minha mãe Enedi, meu irmão Adriano, meus sogros, Dílson e Silvana.

Agradeço pela oportunidade de conhecer vários mestres, pessoas notáveis, que hoje reconheço como os grandes apoiadores deste trabalho. Sou muito grato ao professor Rudi Arno Seitz (*in memoriam*) que deu as idéias iniciais deste estudo.

Agradeço por ter sido aluno dos professores do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, em especial Sebastião do Amaral Machado, Carlos Velloso Roderjan, Franklin Galvão, Carlos Firkowski, Henrique Koehler, Bruno Reissman, Afonso Figueiredo, Décio Figueiredo, Yoshiko Saito Kuniyoshi.

Agradeço pela oportunidade de estudar na Alemanha, de conhecer boas pessoas por lá, como os Professores Heinrich Spiecker e Peter Kalle.

Agradeço pela oportunidade de ter bons amigos na Academia, como o Prof. Dr. Márcio Coraiola, companheiro de inventário e de PUCPR. Sou muito grato pela sua colaboração neste trabalho.

Agradeço pela oportunidade de contar com a orientação do Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto, um exemplo de profissional e nome de referência na Engenharia Florestal brasileira. Serei eternamente grato por todo o apoio e ensinamento recebido, fundamental para minha vida profissional e acadêmica ao longo dos últimos 10 anos.

Agradeço pela oportunidade de trabalhar com o notável senhor artista e *Doutor Honoris Causa* Sergius Erdelyi que, por meio de suas iniciativas, desenvolveu a arte e a cultura florestal da araucária no município de Tijucas do Sul, estado do Paraná.

Agradeço pela vida de todas essas pessoas e de todas as demais que sempre estiveram do meu lado nesta caminhada, os amigos Eduardo, Marcelus, André, Cléverson, Artur, Murilo, Ricardo, Chadily, Cassiano, Rafael, Karen, Soraya e os Marcos.

Agradeço a todas as grandes referências da minha vida, pessoas muito importantes para mim, em especial à minha querida nona Agnes Três Bernardi e senhora Belmira Carneiro Ricci, avó de minha esposa por quem gostaria de expressar meu carinho e admiração.

Agradeço pela vida dos meus tios Jaime, Edgar, Edir e Lillieza, irmãos de minha mãe, pelo exemplo e pela generosa contribuição para meus estudos no exterior.

Por fim agradeço ao governo brasileiro, ao CNPq e DAAD, pelo fomento a Universidade Federal do Paraná e concessão da bolsa de estudos, respectivamente, e a Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela oportunidade de exercer o ensino e a pesquisa naquela casa.

Por tudo isso muito obrigado meu bom Deus!

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.1.1 | <i>Objetivo geral</i> | 2 |
| 1.1.2 | <i>Objetivos específicos.....</i> | 3 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 2.1 | INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE..... | 4 |
| 2.1.1 | <i>Descrição botânica</i> | 4 |
| 2.1.2 | <i>Área de distribuição natural</i> | 5 |
| 2.1.3 | <i>As florestas nativas com presença da araucária</i> | 6 |
| 2.1.4 | <i>Status de conservação da espécie</i> | 6 |
| 2.1.5 | <i>A arquitetura e as fases de vida da araucária</i> | 7 |
| 2.1.6 | <i>Formação de anéis de crescimento na espécie.....</i> | 11 |
| 2.2 | CULTIVO FLORESTAL DA ARAUCÁRIA | 11 |
| 2.2.1 | <i>Histórico dos plantios</i> | 11 |
| 2.2.2 | <i>Viabilidade econômica e benefícios ecológicos</i> | 14 |
| 2.2.3 | <i>A iniciativa do programa VIVAT ARAUCÁRIA.....</i> | 15 |
| 2.3 | O CRESCIMENTO DAS ÁRVORES | 16 |
| 2.3.1 | <i>A idade das árvores</i> | 19 |
| 2.3.2 | <i>Crescimento, incremento e produção florestal.....</i> | 21 |
| 2.3.3 | <i>Crescimento em altura e em diâmetro</i> | 22 |
| 2.3.4 | <i>Relações hipsométricas</i> | 24 |
| 2.3.5 | <i>Estudos do crescimento florestal</i> | 25 |
| 2.3.6 | <i>A análise de tronco</i> | 26 |
| 2.3.7 | <i>Classificação de sítios</i> | 30 |
| 2.3.8 | <i>Crescimento e arquitetura das árvores.....</i> | 33 |
| 2.3.9 | <i>Relações morfométricas</i> | 34 |
| 2.4 | O CRESCIMENTO DA ARAUCÁRIA EM FUNÇÃO DO SÍTIO | 36 |
| 2.4.1 | <i>A influência do solo.....</i> | 37 |
| 2.4.1.1 | <i>O tipo de solo</i> | 37 |
| 2.4.1.2 | <i>Os fatores químicos do solo</i> | 39 |
| 2.4.1.3 | <i>Os fatores físicos e morfológicos do solo</i> | 40 |
| 2.4.1.4 | <i>Os fatores biológicos do solo.....</i> | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.4.1.5 | <i>O uso anterior do solo</i> | 42 |
| 2.4.2 | <i>A influência do clima</i> | 42 |
| 2.4.3 | <i>A influência do material genético</i> | 43 |
| 2.4.4 | <i>A influência da luz</i> | 43 |
| 2.4.5 | <i>A influência da densidade do povoamento</i> | 44 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 45 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS | 45 |
| 3.1.1 | <i>Localização e dimensões da área</i> | 45 |
| 3.1.2 | <i>Clima</i> | 46 |
| 3.1.3 | <i>Vegetação regional</i> | 47 |
| 3.1.4 | <i>Solos</i> | 48 |
| 3.2 | NATUREZA DOS PLANTIOS | 49 |
| 3.2.1 | <i>Origem das mudas</i> | 49 |
| 3.2.2 | <i>Plantio e tratos culturais</i> | 49 |
| 3.3 | CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO E SISTEMA DE AMOSTRAGEM | 51 |
| 3.3.1 | <i>Variáveis mensuradas</i> | 56 |
| 3.4 | ESTUDO DOS PADRÕES DE CRESCIMENTO | 57 |
| 3.4.1 | <i>Avaliação do povoamento</i> | 57 |
| 3.4.2 | <i>Relação hipsométrica</i> | 58 |
| 3.4.3 | <i>Avaliação do crescimento individual por meio da ANATRO</i> | 60 |
| 3.4.4 | <i>Classificação de sítios</i> | 64 |
| 3.4.5 | <i>Dinâmica de formação dos pseudo-verticilos</i> | 65 |
| 3.4.6 | <i>Relações morfométricas</i> | 67 |
| 3.4.7 | <i>Estimativa da densidade ideal em função da altura</i> | 67 |
| 3.4.8 | <i>Relações entre as variáveis biométricas e morfométricas</i> | 68 |
| 3.4.9 | <i>Seleção e uso de variáveis morfométricas para classificação de sítios</i> | 69 |
| 3.4.10 | <i>Correlações entre crescimento e as características dos solos</i> | 69 |
| 3.5 | FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE DOS DADOS | 73 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 74 |
| 4.1 | AVALIAÇÃO DO POVOAMENTO..... | 74 |
| 4.1.1 | <i>Distribuição dos diâmetros</i> | 76 |
| 4.1.2 | <i>Distribuição das Alturas</i> | 78 |
| 4.1.3 | <i>Relação Hipsométrica</i> | 79 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.4 | <i>Distribuição das alturas dominantes</i> | 82 |
| 4.2 | CRESCIMENTO INDIVIDUAL..... | 83 |
| 4.3 | CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS..... | 88 |
| 4.4 | FORMAÇÃO DOS VERTICIOS | 95 |
| 4.5 | RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS..... | 99 |
| 4.6 | ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DA ALTURA..... | 102 |
| 4.7 | RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS | 104 |
| 4.8 | SELEÇÃO E USO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E BIOMÉTRICAS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS .. | 107 |
| 4.9 | CORRELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO E AS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS | 111 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 114 |
| 5.1 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 116 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 118 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - FORMA TÍPICA DA CURVA DE CRESCIMENTO DE UMA ÁRVORE | 18 |
| FIGURA 2 — CURVAS DOS INCREMENTOS CORRENTES (ICA) E MÉDIOS ANUAIS (IMA) E DO CRESCIMENTO EM ALTURA | 22 |
| FIGURA 3 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDOS..... | 46 |
| FIGURA 4 - DELIMITAÇÃO DOS PLANTIOS DE ARAUCÁRIA E RESPECTIVAS UNIDADES DE MANEJO, EM TIJUCAS DO SUL-PR. | 50 |
| FIGURA 5 – PLANTIO DE ARAUCÁRIA IMPLANTADO E MANTIDO PELO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL, PR, COM 5 ANOS DE IDADE. | 51 |
| FIGURA 6 – CROQUI DAS UNIDADES AMOSTRAIS PARA AS DENSIDADES DE 1000 (ESQ.) E 834 (DIR.) ÁRV. HA ⁻¹ , NAS ÁREAS DO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL-PR | 55 |
| FIGURA 7 - ESTADO DE UMA TÍPICA PARCELA DE 6,3 ANOS DE IDADE MENSURADA EM NOVEMBRO DE 2006, EM UM PLANTIO DE ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL-PR..... | 56 |
| FIGURA 8 – DISCOS TRANSVERSAIS CORTADOS NA PRIMEIRA OCASIÃO, COLOCADOS PARA SECAGEM A SOMBRA, NO VIVEIRO FLORESTAL DA PUCPR, EM TIJUCAS DO SUL – PR..... | 61 |
| FIGURA 9 – APARELHO DE MEDIÇÃO DIGITAL DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, NO LABORATÓRIO DO INSTITUTO DE CRESCIMENTO FLORESTAL DA UNIVERSIDADE ALBERT LÜDWIGS, EM FREIBURG, ALEMANHA..... | 62 |
| FIGURA 10 – ASPECTO GERAL DO LINTAB [®] , NA XILOTECA E LABORATÓRIO DE DENDROCRONOLOGIA E DENDROECOLOGIA, NA EMBRAPA, EM COLOMBO, PARANÁ..... | 64 |
| FIGURA11 – AMOSTRAS DE SOLO RETIRADA ATÉ A PROFUNDIDADE DE 1 M COM O TRADO HOLANDÊS, EMPARELHADAS PARA A MEDIÇÃO DA ESPESSURA DOS HORIZONTES | 72 |
| FIGURA 12– TENDÊNCIAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS PARA OS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADOS | 77 |
| FIGURA 13 – TENDÊNCIAS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS PARA OS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADOS . | 79 |
| FIGURA 14 – COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DAS ALTURAS EM FUNÇÃO DO DAP | 80 |
| FIGURA 15 – CURVAS DAS TENDÊNCIAS HIPSOMÉTRICAS PARA TODAS AS ARAUCÁRIAS JOVENS MEDIDAS, AGRUPADAS NOS 5 SÍTIOS NATURAIS, EM TIJUCAS DO SUL, PR..... | 82 |
| FIGURA 16 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE (H _{DOM}), SEGUNDO A FUNÇÃO DE WEIBULL | 83 |
| FIGURA 17 – CURVAS MÉDIAS DE CRESCIMENTO ATÉ A IDADE DE 7 ANOS, COM DADOS REFERENTES A 32 ÁRVORES DOMINANTES..... | 84 |
| FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERFIL DE TRONCO DE UMA <i>A. ANGUSTIFOLIA</i> E RESPECTIVOS | |

| | |
|--|-----|
| LIMITES DO CRESCIMENTO ANUAL EM ALTURA DE ACORDO COM OS MÉTODOS TARG, CARMEAN E PELO TEOREMA DE THALES..... | 85 |
| FIGURA 19 - GRÁFICO DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA TODAS AS ÁRVORES INCLUÍDAS NA ANÁLISE DE TRONCO, EM POVOAMENTOS DE ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL – PR..... | 87 |
| FIGURA 20 – GRÁFICOS DOS RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA ALTURA DOMINANTE POR IDADE, PARA OS MODELOS LOGÍSTICO (ESQUERDA) E DE RICHARDS (DIREITA) | 89 |
| FIGURA 21 – CRESCIMENTOS ANUAIS EM ALTURA DE TODAS AS ÁRVORES SUBMETIDAS À ANÁLISE DE TRONCO ATÉ A IDADE DE 7 ANOS..... | 91 |
| FIGURA 22 – CURVAS LIMITES DE SÍTIO E DISPERSÃO DOS DADOS DAS ALTURAS DOMINANTES OBTIDAS PELO INVENTÁRIO FLORESTAL, ATÉ A IDADE DE 7 ANOS | 92 |
| FIGURA 23 – CURVAS LIMITE DE SÍTIO E COMPORTAMENTO DO CRESCIMENTO E ALTURA DOMINANTE PARA TODAS AS ÁRVORES MEDIDAS INDIVIDUALMENTE, SEPARADAS POR CLASSES DE SÍTIO | 93 |
| FIGURA 24 – AJUSTE DA ESTIMATIVA DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DA ALTURA DAS ÁRVORES, PELO MODELO LOGÍSTICO | 103 |
| FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO ORTOGONAL DAS VARIÁVEIS ANALISADAS EM RELAÇÃO AOS COMPONENTES FATORIAIS | 107 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| TABELA 1 – | ÁREA PLANTADA COM AS PRINCIPAIS ESPÉCIES FLORESTAIS NO ESTADO DO PARANÁ NO ANO DE 2005 | 13 |
| TABELA 2 – | DESCRIÇÃO GENÉRICA DAS UNIDADES DE MANEJO IMPLANTADAS NO ANO 2000, NAS ÁREAS DO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL-PR | 51 |
| TABELA 3 – | ORDENAMENTO DAS AMOSTRAS DE ACORDO COM A LOCALIZAÇÃO, MODALIDADE DE PLANTIO E USO ANTERIOR DO SOLO | 52 |
| TABELA 4 – | DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NAS DIFERENTES SITUAÇÕES DE PLANTIO, NOS POVOAMENTOS IMPLANTADOS NO ANO 2000..... | 53 |
| TABELA 5 – | DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NAS DIFERENTES SITUAÇÕES DE PLANTIO, NOS POVOAMENTOS IMPLANTADOS NO ANO 2001..... | 53 |
| TABELA 6 – | ABRANGÊNCIA ANGULAR DOS RUMOS DE PROJEÇÃO DOS GALHOS MEDIDOS NA FASE DE BIOMETRIA COMPLEMENTAR DAS ÁRVORES | 66 |
| TABELA 7 – | ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA O ORDENAMENTO DAS PARCELAS DE ACORDO COM O LOCAL DE PLANTIO | 74 |
| TABELA 8 – | VALORES DO DIÂMETRO MÉDIO, ALTURA MÉDIA, SOBREVIVÊNCIA, RAZÃO ALTURA/DIÂMETRO E ALTURA DOMINANTE DE <i>A. ANGUSTIFOLIA</i> NAS PARCELAS MENSURADAS DIVIDIDAS DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES DO PLANTIO | 75 |
| TABELA 9 – | VALORES DE ALTURA DOMINANTE (<i>H_{DOM}</i>) MÁXIMOS, MÍNIMOS, MÉDIOS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE ACORDO COM A SITUAÇÃO DE PLANTIO | 76 |
| TABELA 10 – | RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA TODO O CONJUNTO DE DADOS DE <i>DAP</i> , OBTIDOS EM UM POVOAMENTO COM 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR | 76 |
| TABELA 11 – | RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO NORMAL PARA A DISTRIBUIÇÃO DO <i>DAP</i> NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR..... | 77 |
| TABELA 12 – | RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA TODO O CONJUNTO DE DADOS DE <i>HT</i> , OBTIDOS EM UM POVOAMENTO COM 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR..... | 78 |
| TABELA 13 – | RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO WEIBULL PARA A DISTRIBUIÇÃO DA <i>HT</i> NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR..... | 78 |
| TABELA 14 – | COEFICIENTES DE AJUSTE DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA COM OS MODELOS TESTADOS PARA 1307 PARES DE DADOS DE ALTURA E DIÂMETRO DE ARAUCÁRIAS COM 7,3 ANOS DE IDADE | 80 |
| TABELA 15 – | COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO DE STOFFELS NOS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADO..... | 81 |
| TABELA 16 - | RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS ALTURAS DOMINANTES | 82 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| TABELA 17 – | RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO WEIBULL PARA A DISTRIBUIÇÃO DA <i>HDOM</i> NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR..... | 83 |
| TABELA 18 – | DESCRIÇÃO NUMÉRICA DO CRESCIMENTO DA ALTURA DOMINANTE (M) DAS 32 ÁRVORES SUBMETIDAS À ANATRO | 86 |
| TABELA 19 – | COEFICIENTES E PRINCIPAIS ESTATÍSTICAS DOS MODELOS LOGÍSTICOS E DE RICHARDS TESTADOS PARA EXPRESSAR A RELAÇÃO ENTRE A ALTURA DOMINANTE E A IDADE, PARA POVOAMENTOS DE <i>A. ANGUSTIFOLIA</i> , ATÉ A IDADE DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR. | 89 |
| TABELA 20 – | CLASSES DE SÍTIO COM SEUS LIMITES, INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) E VALOR DO ÍNDICE DE SÍTIO (S) PARA A IDADE DE REFERÊNCIA DE 7 ANOS..... | 91 |
| TABELA 21 – | NÚMERO DE VERTICILOS (NV), NÚMERO DE VERTICILOS EMITIDOS POR ANO ($NV.ANO^{-1}$) E DISTÂNCIA MÉDIA (DM) ENTRE OS VERTICILOS, DE 35 ÁRVORES AOS 7 ANOS DE IDADE | 96 |
| TABELA 22 – | COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DO NÚMERO DE VERTICILOS ANUAIS E DISTÂNCIA MÉDIA ENTRE OS VERTICILOS..... | 97 |
| TABELA 23 – | MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DE FORMAÇÃO DA COPA E INCREMENTO MÉDIO ANUAL EM ALTURA..... | 97 |
| TABELA 24 - | ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO LINEAR, SENDO $IMA_H=F(DM, NV)$ | 98 |
| TABELA 25 - | ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO LINEAR, SENDO $IMA_H=F(DM, NV)$ | 98 |
| TABELA 26 – | RESULTADO DA APLICAÇÃO DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS DE CRESCIMENTO NA FORMAÇÃO DE VERTICILOS..... | 99 |
| TABELA 27 – | VALORES BIOMÉTRICOS E MOROFMÉTRICOS DAS ARAUCÁRIAS COM 7,3 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR | 100 |
| TABELA 28 – | COEFICIENTES ESTIMADOS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA E ERRO PADRÃO PARA A RELAÇÃO ENTRE OS INCREMENTOS MÉDIOS EM ALTURA E DIÂMETRO E CARACTERÍSTICAS DA COPA..... | 100 |
| TABELA 29 – | ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA AS ÁRVORES MEDIDAS INDIVIDUALMENTE | 102 |
| TABELA 30 – | ESTIMATIVA DA DENSIDADE MÁXIMA POR HECTARE EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE NA IDADE DE 7 ANOS..... | 104 |
| TABELA 31 – | CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS PARA UM CONJUNTO DE 35 ARAUCÁRIAS MEDIDAS | 105 |
| TABELA 32 – | MATRIZ FATORIAL ROTACIONADA <i>VARIMAX</i> DE ANÁLISE DE COMPONENTES | 106 |
| TABELA 33 – | ESTATÍSTICA DO TESTE DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS DISCRIMINANTES PARA A MATRIZ DE DADOS BRUTOS OBTIDOS COM 4 E 25 GL..... | 108 |
| TABELA 34 – | ESTATÍSTICA DO TESTE DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS, APÓS 2 PASSOS..... | 109 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 35 – ESTATÍSTICA DE SELEÇÃO DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES DE ÁRVORES AGRUPADAS SEGUNDO OS PADRÕES DE CRESCIMENTO | 109 |
| TABELA 36 – COEFICIENTES PADRONIZADOS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES DE ÁRVORES AGRUPADAS EM PADRÕES DE CRESCIMENTO, EM UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL-PR | 109 |
| TABELA 37 – CENTRÓIDES DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES AVALIADAS PARA OS CINCO GRUPOS ENCONTRADOS | 109 |
| TABELA 38 – NÚMERO DE CASOS E PERCENTAGENS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ÁRVORES NOS CINCO GRUPOS DETERMINADOS | 110 |
| TABELA 39 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA OS CINCO GRUPOS DELIMITADOS..... | 111 |
| TABELA 40 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS DADOS ANALÍTICOS DE SOLO E O IMA E ICA ₀₆₋₀₇ | 112 |
| TABELA 41 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS DADOS GRANULOMÉTRICOS E PROFUNDIDADE COM O IMA E IPA ₀₆₋₀₇ | 113 |

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de contribuir ao entendimento da dinâmica de crescimento da *Araucaria angustifolia* em diferentes sistemas de cultivo, com enfoque na fase juvenil. A amostragem foi realizada em diferentes situações de plantio, em povoamentos com idades variando entre seis e sete anos, nos quais foram demarcadas 83 amostras temporárias de 20 x 20 m, onde todas as árvores foram medidas. Além disto, 32 árvores foram cortadas e seccionadas em discos transversais para posterior execução da análise de tronco completa – ANATRO. Por fim, medidas morfométricas foram tomadas e analisadas. A consecução destas metodologias foi concebida para observar e descrever os diferentes padrões de crescimento da espécie. Os resultados indicam que na área predominam os sítios limitados, em sua maioria em talhões anteriormente cultivados com pinus, tabaco ou pastagens. Os melhores sítios se concentram em áreas de lavoura recém abandonadas. Em função do desenho experimental não foi possível fazer a análise do peso de cada fator (localização x uso anterior do solo x modalidade de plantio) em separado. Da análise do crescimento individual extraiu-se que existem relações morfométricas correlacionadas com o ritmo de crescimento das árvores, servindo constituindo bons indicadores da qualidade do sítio. Detectou-se também que a correlação entre as variáveis de solo e o crescimento é mais acentuada para alguns elementos, em especial N e Al. Aspectos físicos do solo também influem no ritmo de crescimento, sobretudo a profundidade do solo. Como conclusões finais têm-se que diferentes incrementos ocorrem em função da qualidade do terreno e as diferentes metodologias aplicadas para a avaliação do crescimento podem ser utilizadas como ferramentas para a classificação de sítios.

Palavras-chave: Araucária, plantio, crescimento.

ABSTRACT

The present study was developed in order to contribute to better understanding the growth dynamics of *Araucaria angustifolia*, in different cultivation systems, with special approach to the juvenile phase. The sampling was carried out in different planting situations, in stands varying from six to seven years, where 83 temporary samples of 20 x 20 m were placed and all the trees measured. Moreover, 32 trees were felled and cut in transversal disks for posterior execution of the complete stem analysis - ANATRO. Finally, morphometric measures were taken and analyzed. The achievement of these methodologies was conceived to observe and to describe the different standards of growth of the species. The results indicate that in the area the limited sites predominate, in the stands previously cultivated with pinus, tobacco or pastures. The best sites are concentrated in areas of abandoned agricultural areas. According to the experimental design it was not possible to make the analysis of the weight of each factor (location x using previous planting soil x mode) separately. From the analysis of the individual growth it was extracted that there are morphometric variables correlated with the rhythm of growth of the trees, serving as good indicators of site quality. It was also detected that the correlation between soil variables and growth is higher for some elements, in special N and Al. Physical aspects of the soil also affects the growth rhythm, mainly the soil depth. As final conclusions different yields occur in function of the quality of the land and that application of diverse methodologies of evaluation of growth were useful for site classification.

Key words: Araucária, planting, growth.

1 INTRODUÇÃO

Faz muito tempo que as florestas brasileiras deixaram de ser um universo inexplorado e desconhecido. Miranda (2007) afirma que registros arqueológicos indicam que as primeiras ocupações humanas no nosso território datam de 11,3 mil anos. Segundo o mesmo autor o espaço natural do Brasil, o que inclui a Mata Atlântica e a Amazônia, passou a ser uma natureza humanizada há pelo menos 10 mil anos.

Depois de 1500, os colonizadores europeus chegaram e escolheram as regiões privilegiadas para a implantação dos primeiros povoados, mais tarde vilas e por fim, as cidades. Estes pioneiros, povoadores do espaço brasileiro, trouxeram consigo uma nova interpretação da floresta, não mais a vendo como uma fonte de alimentos e abrigo para a caça, mas como uma fonte de recursos, de terras férteis para o cultivo agrícola e, principalmente, como um imenso estoque de madeira.

No sul do país, espécies nativas nobres despertaram a atenção dos colonizadores e exploradores, com destaque para a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., reconhecida como pinho brasileiro, pinheiro-do-paraná ou araucária. Foi o início de uma sequência de décadas ininterruptas de exploração intensiva. Tamanha riqueza alavancou o desenvolvimento e a consolidação dos estados sulinos, ao preço da quase exaustão da espécie.

O pinheiro-do-paraná foi incluído na lista das madeiras de lei, a partir da Carta Régia de 13 de março de 1797, que determinava que os pinheiros só poderiam ser cortados ao proveito da Coroa (KOSCINSKI, 1934). Um século depois a exploração da araucária tomou força, atingindo seu ápice no Séc. XX. Segundo Hueck (1972), nos ano de 1963, o pinho representava 92% do montante de exportações de madeiras brasileiras. A saga da colonização, urbanização e consolidação da agricultura como principal forma de uso do solo, expuseram ainda mais as florestas com araucária ao encolhimento e, ainda hoje, desmatamentos

ilegais corroem o pouco que restou.

Se as reservas naturais são escassas e a legislação florestal está cada vez mais restritiva a qualquer forma de manejo das florestas nativas com araucária, a única saída para o aproveitamento deste recurso é o cultivo florestal da espécie.

Os plantios florestais no Brasil iniciaram no início do século passado, e a partir da década de 1960 grandes empresas implantaram maciços significativos. Desafortunadamente a maioria dos plantios de araucária não correspondeu às expectativas. Ao mesmo tempo, os resultados obtidos com o eucalipto, e mais tarde com o pinus, eram cada vez mais animadores canalizando os investimentos para as essências exóticas. Dessa experiência acumulada há um consenso que o cultivo da araucária só atinge níveis de produtividade atrativos quando feito em sítios adequados, dentro de sua área de ocorrência natural.

É certo que o cultivo da araucária é vantajoso do ponto de vista ambiental e, em muitos casos, do ponto de vista comercial. O ponto de partida deve ser a definição do (s) objetivo (s) do plantio para, a partir de então, definir a localização adequada e os métodos culturais e silviculturais que serão empregados. Ainda que a produtividade potencial seja menor do que se obtém hoje com pinus e eucalipto, deve-se considerar as possibilidades de uso múltiplo e os benefícios ambientais do cultivo florestal da araucária.

O presente trabalho foi concebido para elucidar algumas questões derivadas do acompanhamento da iniciativa de uma empresa florestal que decidiu investir no cultivo da espécie. O enfoque principal é a avaliação do ritmo de desenvolvimento inicial das árvores e sua variação de acordo com a qualidade do terreno plantado. Espera-se com isso contribuir com a ciência florestal e estimular novos investimentos desta natureza.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

A presente tese foi elaborada com o objetivo geral de buscar um melhor

entendimento sobre a dinâmica de crescimento da araucária, em um povoamento implantado sob diferentes condições, com variações na qualidade do terreno e uso anterior do solo, com enfoque na fase inicial de crescimento. Buscou-se definir ritmos de crescimento com base em diferentes metodologias e testá-las como ferramentas de avaliação da qualidade e aptidão do terreno para o cultivo da araucária.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar por meio de um inventário florestal as condições de um povoamento jovem de *Araucaria angustifolia*;
- Avaliar o crescimento em diâmetro e altura de árvores jovens e fazer uma análise comparativa entre diferentes talhões e condições de plantio;
- Determinar classes de sítio de acordo com a dinâmica de crescimento inicial das árvores;
- Propor variáveis alternativas, oriundas da morfometria e arquitetura das árvores, como apoio à classificação de sítio;
- Avaliar as correlações existentes entre as variáveis biométricas e o ritmo de crescimento inicial com características inerentes ao sítio; e
- Gerar recomendações técnicas para a condução e manejo do povoamento, e ampliação da área plantada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE

2.1.1 Descrição botânica

O gênero *Araucaria* Juss. fazia parte da flora terrestre já no período Triássico e teve seu predomínio no Gondwana. Atualmente o gênero encontra-se distribuído no hemisfério sul, onde 19 espécies são reconhecidas (VEILLON¹, citado por GROSFELD; BARTHÉLÉMY; BRION, 1999). A maioria delas é nativa da Nova Caledônia (13 spp), Ilhas Norfolk (1 sp.) ou Austrália e Nova Guiné (3 spp.). As demais (2 spp.), *Araucaria angustifolia* e *Araucaria araucana*, são endêmicas à duas regiões da América do Sul (MATTOS, 1985; GROSFELD; BARTHÉLÉMY; BRION, 1999).

A *Araucaria angustifolia* Bertol. (Kuntze) é uma gimnosperma arbórea que alcança mais de 40 m de altura e até 120 cm de *DAP*, com tronco reto, quase cilíndrico. A copa é caliciforme ou umbeliforme em árvores adultas e cônica nas jovens. As folhas são simples, alternas, espiraladas, lineares a lanceoladas, coriáceas com até 06 cm de comprimento por 10 mm de largura. As flores masculinas reúnem-se em um amento cilíndrico alongado de 10 a 22 cm de comprimento por 02 a 05 cm de diâmetro, com escamas coriáceas e as flores femininas em estróbilos (pinhas). Os frutos (pseudofrutos) são reunidos no estróbilo feminino, com número variável de escamas (700 - 1200) e número variável de sementes (até 150), essas por sua vez, possuem tegumento duro e endosperma abundante, carnosas, com 3 a 8 cm de comprimento, por 1 a 2 cm de largura. A amêndoa é constituída por amido e no centro encontra-se o embrião com os cotilédones (REITZ; KLEIN, 1966; CARVALHO, 1994).

Estudos anatômicos do gênero *Araucaria* Juss revelam que o meristema apical deste grupo é diferenciado de outras coníferas. Griffith (1952) esmiuçou a

¹ VEILLON, J.M. Architecture des espèces néo-calédoniennes du genre *Araucaria*. **Candollea** 35: 209-640, 1980.

parte apical de ramos de *A. araucana*, *A. excelsa*, *A. bidwillii* e *A. cunninghamii*. Em seu trabalho ficou comprovado que neste gênero não há a produção de catáfilos, mas somente as folhas, nas laterais do meristema apical. Além disso, o autor mostrou que não há um período de absoluta dormência da gema apical, fato comum nas coníferas norte-americanas, havendo somente uma redução quase absoluta da atividade mitótica e do alongamento nesta região.

A espécie é dióica, polinizada pelo vento, quando os amentilhos despreendem o pólen amarelado. Os pinhões amadurecem durante os meses frios do ano, perdurando até agosto quando praticamente se encerra o período reprodutivo (CARVALHO, 1994).

2.1.2 Área de distribuição natural

Segundo Machado e Siqueira (1980) o primeiro autor a tratar da distribuição geográfica da *Araucaria angustifolia* foi Martius, em sua obra "Flora Brasiliensis". Hueck (1972) afirma que a *Araucaria angustifolia* ocorre nas partes leste e central do planalto sul brasileiro, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, de forma esparsa nos estados de São Paulo, Minas Gerais e no Rio de Janeiro, nas serras da Mantiqueira e do Itatiaia, em terrenos acima de 1200 m s.n.m.. A espécie ocorre ainda na Província de Misiones, na Argentina, entre as altitudes de 500 e 800 m (HUECK, 1972). De acordo com Maack (1968) o desenvolvimento da floresta de araucária está intimamente relacionado com a altitude.

Segundo Machado e Siqueira (1980) a área original de ocorrência da espécie no Brasil era de 182.295 km², ou 22,50% da superfície total dos estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No geral a espécie ocorre nas regiões com os tipos climáticos de Köppen Cfa, Cwb e, preferencialmente, no tipo Cfb. De acordo com o patamar altitudinal de ocupação o pinheiro-do-paraná suporta bem as geadas, ocorrendo entre as altitudes entre 500 e 1.500 m. Abaixo desse limite a espécie persiste somente em bolsões de ar frio e em capões relictos (CARVALHO, 1994).

2.1.3 As florestas nativas com presença da araucária

A formação vegetacional primária que tem a *A. angustifolia* como elemento característico é designada como Floresta Ombrófila Mista (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). Este tipo florestal caracteriza-se pela massiva presença da espécie dominando o estrato emergente, onde as copas umbeliformes formam uma cobertura homogênea, quase densa. Logo abaixo deste manto configura-se um arranjo de variadas árvores e demais formas de vida (KLEIN, 1974). Conforme esse autor a araucária é o único representante dos megafanerófitos desta formação.

O Decreto n. 750, promulgado em 1993 e conhecido como Lei da Mata Atlântica, estabelece que a Floresta Ombrófila Mista está inserida no domínio Mata Atlântica, com as respectivas delimitações estabelecidas pelo Mapa de Vegetação do Brasil, elaborado pelo IBGE em 1988.

Estudos florísticos e fitossociológicos realizados em remanescentes dentro dos domínios de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista denotam que a araucária é o elemento que caracteriza uma vegetação arbórea composta por quase uma centena de espécies, onde se destacam pela abundância e diversidade as famílias Myrtaceae e Lauraceae (KLEIN, 1974; LONGHI, 1980; WACHTEL, 1990; KOEHLER; PÉLLICO-NETTO; SANQUETTA, 1998).

2.1.4 Status de conservação da espécie

Nem mesmo a beleza de uma árvore única na paisagem brasileira foi capaz de garantir a conservação da espécie e evitar que praticamente estejam extintos os remanescentes primários onde a araucária se destacava. Segundo afirmou Mansueto Koscinski:

“Embora o pinheiro brasileiro seja uma belíssima árvore ornamental, exaltada pelos poetas e amantes da Natureza, o principal interesse que desperta é o econômico, proveniente do valor da sua madeira”
(Koscinski, 1934, p. 3).

A *Araucaria angustifolia* é citada como espécie ameaçada de extinção em várias publicações do gênero (IBAMA, 1992; SEMA, 1995; VARTY; GUADAGNIN, 2003). Embora ainda existam milhões de pinheiros vivos, restam poucos remanescentes expressivos da Floresta Ombrófila Mista primária, em toda a sua área de ocorrência natural. Para o estado do Paraná, onde os maiores contingentes deste tipo de floresta recobriam a paisagem, resta menos do que 2%, em bom estado de conservação, dentro da área original de ocorrência natural da espécie (CASTELLA; BRITZ, 2004).

Estudos indicam que a degradação e fragmentação dos maciços florestais com a araucária causaram efeitos na genética da espécie (BITTENCOURT; SEBBENN, 2009). No entanto, há de se considerar que, mesmo que a fragmentação de seu habitat tenha gerado uma diminuição do índice de diversidade dentro da população, a derrubada destas matas é um processo relativamente recente levando-se em conta a história botânica da espécie. Por isso ainda não foram detectadas diferenças genéticas significativas entre populações isoladas (AULER et al., 2002).

2.1.5 A arquitetura e as fases de vida da araucária

Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) desenvolveram um sistema de classificação da arquitetura das árvores baseado nas combinações de unidades meristemáticas (eixos), os quais formam o tronco e suas principais ramificações. Os eixos são classificados em relação à determinação (determinado, indeterminado) e a tropia (ortotrópico, plagiotrópico, ortoplágiotrópico). Os eixos podem derivar de outros eixos nas orientações terminal, contínua, difusa, dicotômica, rítmica, zonal, ou no caso dos eixos do tronco, basal ou abaixo do solo. Baseado nestas variáveis os autores propuseram 23 modelos arquiteturais.

A maioria das coníferas cresce de acordo com os modelos Massart e Rauh (ROBINSON, 2000), sendo o último o que melhor define a arquitetura da *Araucaria angustifolia*. Este modelo caracteriza-se pela arquitetura estabelecida a partir de um tronco ortotrópico de funcionamento apical indefinido (monopodial), com

crescimento rítmico sobre o qual os ramos têm uma disposição verticilada ou subverticilada; a filotoxia é em espiral e os ramos são plagiotrópicos (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978).

Tal qual a descrição feita por Grosfeld, Barthélémy e Brion (1999) para *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, a espécie *A. angustifolia* possui uma arquitetura simples, porém muito precisa. O tronco é ortotrópico, monopodial e com crescimento rítmico indefinido. O padrão de ramificação é também rítmico e os galhos assumem o desenvolvimento siléptico. Na árvore adulta estes galhos, 5 a 8, são arranjados em pseudoverticilos no tronco. Estes são predominantemente plagiotrópicos com uma tendência ortotrópica dos ápices. Os ramos são arranjados nos galhos em pares, mais ou menos, no mesmo plano.

Segundo os mesmos autores esta arquitetura apresenta variações de acordo com o ambiente ocupado pela planta, respondendo às condições de solo, competição e disponibilidade de luz. O que acontece é que em condições desfavoráveis a planta quiescente só desenvolverá seu potencial de crescimento quando o ambiente permitir e, até lá, a relação entre altura e diâmetro de copa é diferente daquela observada em árvores de crescimento livre à plena luz.

Os mesmos Grosfeld, Barthélémy e Brion (1999) citam casos em que espécimes de *Araucaria araucana* permaneceram quiescentes por mais de 150 anos no sub-bosque da floresta e retomaram o crescimento após a abertura de uma clareira. Esta capacidade de redução do crescimento por mais de 100 anos à espera de uma abertura no dossel foi reportada para outras coníferas, como mencionada *Abies alba* Mill. conforme Szymura (2005).

De acordo com Hertel (1980) a *Araucaria angustifolia* atravessa quatro fases distintas ao longo de seu desenvolvimento pós-germinação, sendo estas o puladendro (a plântula), o tirodendro (a planta atingindo a maturidade), o ferodendro (planta produtiva) e o senadendro (a planta protelando a morte).

O autor supracitado explica que a auxomorfa da fase tirodêndrica assume uma forma típica, cônica, como o modo dilucional baseado em “verticilos” (pseudoverticilos) ou “coroas”, cujo raio diminui harmônica e proporcionalmente à

medida que a altura de inserção aumenta, resultando em uma perfeita forma cônica ou, em silhueta, a figura de um triângulo isóceles com o vértice voltado para cima.

Esta forma, piramidada, permanece até o início do processo de encopamento, quando retarda-se o crescimento em altura do eixo vertical e modifica-se a silhueta da árvore. E aí que se tem o início da fase ferodêndrica da árvore, quando ocorre a completa abscisão dos galhos mais baixos e a copa assume a forma de uma umbela.

Na fase de senadendro a árvore apresenta a forma de copa semelhante a uma taça, ou cálice. De acordo com Seitz², citado por Nogueira (1989), quando a árvore atinge esta fase é um sinal de declínio de sua vitalidade. Esta conformação arquitetural é abreviada quando a planta cresce em sítios pobres, podendo ocorrer mesmo antes dos vinte anos de idade, ainda que a altura da árvore seja relativamente baixa.

Hertel (1980) denotou que a *Araucaria angustifolia* não forma um verticilo de galhos propriamente dito, uma vez que há sempre uma elevação do nível de emissão, constituindo uma seqüência espiral ascendente. No decorrer do tempo aumenta o número de galhos por “verticilo”, chegando a nove no máximo, sendo que a maioria dos pseudoverticilos de árvores adultas possuem 5 ou 6 galhos (NOGUEIRA, 1989).

Segundo Hertel (1980) a formação do caule elucidada que o caráter monopodial da planta se dá desde a fase puladêndrica. O sistema dilucional inicial é configurado por um ou dois galhos e, mais tarde, se forma outra coroa, ainda pouco numerosa. Ainda sobre a monopodialização da espécie, o autor explica que na verdade a araucária não é uma planta de crescimento monopodial típico, mas sim simpodial com camuflagem monopodial. Defende este que na fase puladendro o crescimento é monopodial até a primeira diluição, e, a partir daí, na fase tirodendro, o aumento no número de galhos por “verticilo” implica no aumento da altura destes e

2 Seitz, R. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: **Crown and Canopy structure in relation to productivity**, 1986. Proceedings. Ibaraki Forestry and Forest Products Research Institute, 1986. 129-146.

que o fato do plano de tomia (ramificação) girar ao longo do eixo principal repercute na diferenciação celular em uma linha espiral. Conclui que pela soma destes e de outros fatores, a árvore apresenta um efeito monopodial, embora seja de fato simpodial monopodializada.

A respeito da formação anual dos verticilos de *Araucaria angustifolia* Bueno³, citado por Carvalho (1994), afirma que árvores jovens emitem dois pseudo-verticilos por ano, e árvores adultas um pseudo-verticilo. Lusk e Le-Quesne (2000) estudaram a formação dos pseudo-verticilos em árvores juvenis de *Araucaria araucana* e concluíram que, diferentemente de muitas outras coníferas temperadas, não há um ritmo anual de formação destas estruturas. Os autores indicam que a formação dos pseudo-verticilos está relacionada com a quantidade de luz disponível, e conseqüentemente, com o balanço de carbono da planta e que, provavelmente, o ritmo de formação varia ao longo das fases de crescimento da árvore.

Sobre a desrama natural da *A. angustifolia* Nutto e Spathelf (2003) afirmam que a espécie pertence ao grupo das árvores com desrama natural lenta, mas ainda superior do que muitas outras coníferas. Concluem que o crescimento rápido em altura acelera a desrama e, portanto, em sítios melhores os fustes serão mais limpos se o espaçamento for devidamente manejado em prol da qualidade da madeira. Recomendam ainda que em espaçamentos maiores uma poda seja feita para evitar a formação de núcleos nodosos maiores.

Sobre a relação entre a dimensão da copa e o *DAP* das araucárias diversos trabalhos foram feitos e entre estes destacam-se Longhi (1980), Seitz (1986) e Nutto (2001). Avaliando esta relação em diferentes idades Nutto (2001) concluiu que há uma alta correlação entre estas variáveis desde as idades jovens até em árvores adultas.

³ BUENO, J. Regeneracion natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. K. **Anales Cientificos**, Lima, v.3, n.3, p.278-299, 1965.

2.1.6 Formação de anéis de crescimento na espécie

Segundo Wehr e Tomazello Filho (2000) as árvores de araucária, tal qual acontece em várias outras coníferas, gravam no tronco, ano após ano, na forma de anéis de crescimento, as variáveis ecológicas do ambiente, constituindo-se em importante fonte de informações para diferentes ramos da ciência florestal, como a dendrocronologia, o manejo florestal, entre outras. Estes autores aplicaram a metodologia da microdensitometria de raios X para a caracterização dos anéis de crescimento da araucária e concluíram que os valores de largura dos lenhos iniciais e tardios e dos anéis anuais variam de acordo com a posição sociológica da árvore no povoamento.

Seitz e Kanninen (1988; 1989) estudando os anéis de árvores adultas de *A. angustifolia* concluíram que há correlação entre a largura dos anéis em diferentes árvores analisadas, o que indica o potencial da espécie para estudos dendrocronológicos e dendroecológicos.

Oliveira (2007) e Santarosa et al. (2007) comprovaram que a *A. angustifolia* forma anéis anuais de crescimento e que isto ocorre em função das variações de temperatura e do fotoperíodo. Além disso, estes autores desenvolveram uma completa argumentação teórica que corrobora com outros autores quando destacam o potencial da espécie para estudos dendrocronológicos e dendroecológicos.

2.2 CULTIVO FLORESTAL DA ARAUCÁRIA

2.2.1 Histórico dos plantios

O cultivo da araucária na forma de povoamentos florestais teve início ainda na primeira metade do século XX. De Hoog e Dietrich (1978; 1979) incluíram no sistema de amostragem, em uma pesquisa bastante abrangente de avaliação de sítios, um plantio efetuado no município de Caieiras – SP, pela Companhia Melhoramentos, em 1928. Segundo Sanquetta e Mattei (2006) existem plantios antigos mantidos até hoje em áreas públicas, especificamente nas Florestas

Nacionais, FLONAS. Plantios das décadas de 1940 e 1950 na FLONA de Três Barras em Santa Catarina são marcas da experiência brasileira com o reflorestamento de araucária. Os autores citam ainda experiências interessantes empreendidas nas FLONAS Açungui e Irati no Paraná e São Francisco de Paula e Canela, no Rio Grande do Sul.

Apesar desse histórico, o cultivo florestal da *A. angustifolia* não é uma prática muito difundida entre as empresas de base florestal. Segundo a FUPEF (1978), apesar de sua importância econômica e ecológica no país, a *Araucaria angustifolia* sempre foi preterida em reflorestamentos por espécies exóticas consideradas de rápido crescimento, em especial pertencentes aos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Infelizmente a araucária não cresce no mesmo ritmo e somente em sítios adequados é que sua produção pode ser compatível com aquela alcançada pelas espécies exóticas mais adotadas em plantios comerciais.

Muitos fatos contribuíram para o baixo investimento nos plantios de araucária, a despeito da valiosa madeira de reputação inegável que fornece. O primeiro fato alegado seria seu lento crescimento além do elevado custo inicial para a implantação do povoamento (FUPEF, 1978). Segundo de Hoog e Dietrich (1979) a falta de conhecimento sobre os requisitos de sítio para o bom crescimento da espécie levou a muitos resultados desapontadores em plantações da espécie em sua área nativa, o sul do Brasil.

O Brasil é o sétimo país em florestas plantadas do mundo, contando atualmente com cerca de 5,2 milhões de hectares (ALVES et al. 2006a). A maior parte da área reflorestada existente no País formou-se nas décadas de 1970 e 1980, quando da vigência do programa de incentivos fiscais. Esse instrumento tornou possível às empresas a execução de plantios de florestas em larga escala, contando com um incentivo financeiro, uma vez que podiam abater parte do Imposto de Renda as importâncias comprovadamente aplicadas em reflorestamento. Contudo havia uma justificativa para não se investir em plantios homogêneos com araucária, uma vez que o desenvolvimento era lento. Conforme afirma a FUPEF (1978) esta justificativa não seria válida, uma vez que a espécie possui elevado valor comercial e

se presta para diversas utilidades, desde requintados painéis, até celulose de alta qualidade.

Não existem dados que forneçam uma idéia exata da extensão da área total de plantios com araucária no Brasil, embora aproximações desses valores tenham sido publicadas. Este panorama é quantificado pela Tabela 1, na qual podem ser observadas as principais espécies florestais plantadas no Estado do Paraná. As principais espécies florestais plantadas no estado são do gênero *Pinus*, nesse caso *P. elliottii* e *P. taeda*. Desta forma, as áreas reflorestadas com este gênero até o ano de 2005 totalizam 677 mil hectares, representando mais de 80% das áreas de reflorestamento no Estado. Em seguida vem o gênero *Eucalyptus*, com área plantada no Estado do Paraná próxima aos 115 mil hectares.

TABELA 1 - ÁREA PLANTADA COM AS PRINCIPAIS ESPÉCIES FLORESTAIS NO ESTADO DO PARANÁ NO ANO DE 2005

| Espécie | Área plantada (ha) | Proporção (%) |
|-------------------------------|--------------------|---------------|
| Pinus | 677.772,00 | 83,04 |
| Eucaliptos | 114.996,00 | 14,09 |
| <i>Araucaria angustifolia</i> | 19.893,00 | 2,43 |
| Populus | 3.200,00 | 0,40 |
| Gmelina | 300,00 | 0,04 |
| Total | 816.161,00 | 100,00 |

Fonte: IAP⁴, ABRAF⁵, SBS⁶, citados por Alves et al. (2006a).

Segundo Alves et al. (2006b) as áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* no Brasil ocupam uma área de 1,8 milhão de hectares, representando cerca 38,6% dos reflorestamentos existentes no país. Esses reflorestamentos com espécies de rápido crescimento representam uma importante alternativa para a produção de matéria-prima da indústria florestal brasileira.

Segundo Sanquetta e Mattei (2006) o reflorestamento de araucária é uma forma viável de conciliar a produção de matéria-prima florestal, a proteção da biodiversidade florística e faunística na Floresta Ombrófila Mista e a obtenção de

⁴ IAP. Instituto Ambiental do Paraná; Biodiversidade e Áreas Protegidas. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap>>. Acesso em: setembro 2006.

⁵ ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**; ano base 2005. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas-ABRAF : Brasília, 2006. 86p.

⁶ SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura; estatísticas. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas>>. Acesso em: setembro 2006.

outros benefícios e serviços que esta atividade pode propiciar. Apesar disso a *Araucaria angustifolia* representa aproximadamente 2,5% das essências florestais plantadas no Estado, com área de aproximadamente 20 mil hectares (ALVES et al. 2006a).

Após a promulgação da Lei de Incentivos Fiscais nº 5.106/66 muitas iniciativas de cultivo florestal homogêneo se espalharam pelo país. Segundo consta, mais de 2.400.000 ha de plantio foram estabelecidos até 1978 (FUPEF, 1978), porém somente 2,4% desses plantios foram feitos com araucária, sendo a grande maioria com pinus e eucalipto, o que representaria 58.000 ha (FUPEF, 1978).

2.2.2 Viabilidade econômica e benefícios ecológicos

Um estudo conduzido pelo Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE, 2005) demonstra que o reflorestamento de araucária pode ser interessante do ponto de vista do retorno financeiro, quando se considera uma produtividade superior a 20m³/ha/ano. Isto significa que plantar a espécie torna-se economicamente viável somente em sítios de elevada produtividade, quando o foco é a produção de madeira. Do contrário, há motivações econômicas que justificam a preleção de espécies exóticas de rápido crescimento por parte das empresas de base florestal.

Contudo, o mesmo estudo aponta que em termos gerais e mesmo em sítios de baixa produtividade, o cultivo de araucária não gera prejuízos e isto deve ser considerado sempre que se tem em mente um projeto ambiental, aonde poderia ser aplicado não só capital a fundo perdido e recursos próprios, mas também capital oriundo de financiamentos bancários. Na linguagem econômica este seria um investimento pouco atrativo, mas, ainda assim, capaz de gerar enormes ganhos ambientais. Ainda há de se considerar outras possibilidades de geração de receitas com florestas plantadas com araucária, como obtenção de créditos de carbono, tendência das grandes corporações em apoiarem projetos ambientais, agregação de valores aos produtos madeiráveis e não madeiráveis (pinhão), entre outras.

Segundo a pesquisa conduzida pelo BRDE apesar da madeira da

araucária ser considerada superior a do gênero *Pinus*, atualmente esta é preferida pelos mercados por não representar risco de conflitos com a legislação ambiental. Segundo esta fonte, as negociações de fornecimento de madeira ou de produtos derivados da araucária enfrentam sérios obstáculos, tanto no mercado interno quanto externo, por se tratar de uma árvore nativa incluída na lista de espécies ameaçadas de extinção.

O estudo efetuado pelo Banco conclui que devido ao pequeno estoque de árvores remanescentes, a pressão dos mercados importadores para a certificação florestal, ao desinteresse pelo cultivo econômico dessa espécie e ao rigor da legislação ambiental, a madeira de araucária vem perdendo cada vez mais espaço nos mercados, tendendo, inclusive, a ser completamente substituída pelas essências exóticas, principalmente do gênero *Pinus*, ainda que por muitos anos, sob a forma de madeira serrada e laminada, a araucária estivesse entre os principais produtos da pauta de exportações brasileiras (BRDE, 2005).

2.2.3 A iniciativa do programa *VIVAT ARAUCÁRIA*

Santos e Muller (2006) citam inúmeros benefícios advindos das florestas com araucária, além da produção de madeira, que poderiam ser igualmente obtidos em sistemas de cultivo florestal. Entre esses valem menção a geração de produtos não madeireiros (pinhão, erva-mate, resinas, nó de pinho, entre outros), abrigo para a fauna, proteção do solo, proteção das águas, estudos científicos, educação ambiental, fixação de carbono, valorização de imóveis e marketing ambiental. Estes aspectos foram os principais motivadores para o investimento na espécie no âmbito do Programa Vivat Floresta Sistemas Ecológicos, o qual fomentou o plantio alvo do presente estudo, no município de Tijucas do Sul, estado do Paraná.

Segundo Santos et al. (2002) o cultivo de araucária tem um forte viés ambiental, não só por se tratar de uma espécie nativa e simbólica, mas também pelo importante recurso que o pinhão representa para a fauna e como fonte alternativa de renda ao produtor rural (SANTOS et al. 2002).

O plantio de araucária aqui analisado ocorreu em fases distintas. O cultivo

florestal na área foi iniciado em 1974, quando o primeiro projeto sob a égide da Lei 5.106/66 foi agraciado com os incentivos, em nome da Panagro S.A., atualmente Panagro Empreendimentos Florestais Ltda. Nesse e nos demais talhões plantados posteriormente a empresa optou pelo plantio de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. No caso da araucária o plantio foi efetuado para atender a exigência legal de que pelo menos 1% da área plantada fosse feito com espécies nativas. Como resultado, naquela época, aproximadamente seis hectares foram plantados com a espécie (PUCPR; IFSE, 2002).

A segunda fase teve início em 1999, com a criação do programa de reflorestamento com araucária dentro do projeto Vivat Floresta Sistemas Ecológicos (PUCPR; IFSE, 2002). Esta ação envolve o cultivo de extensas áreas com a araucária, incluindo sistemas mistos com erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) com o objetivo de diversificação da produção florestal na área, promoção da conservação *in situ* da espécie e melhoria do habitat para a fauna regional (IFSE, 2008). Nessa segunda fase haviam sido plantados, até o ano de 2007, cerca de 200 hectares.

Em 2005 o programa *Vivat Araucaria* foi redesenhado para atrair investidores e parceiros para a ampliação e manutenção da área plantada e a partir de 2006 este programa passou a se chamar *VIVAT ARAUCÁRIA*. Esta iniciativa prevê que qualquer pessoa física ou jurídica que deseje “adotar” esta idéia pode contribuir com um pequeno valor mensal, a título de doação. Como contrapartida o doador recebe um certificado e uma espécie de crachá que o identifica como colaborador, recebendo a alcunha de Yvyra, que significa árvore em Tupi Guarani (IFSE, 2008).

2.3 O CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Segundo Karkach (2006) o crescimento pode ser entendido como um aumento de todo o organismo ou de partes dele com a idade. Neste contexto o crescimento de uma árvore pode ser entendido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso ou biomassa, com o passar do tempo. Portanto, o crescimento de uma árvore é o

aumento gradual do valor das variáveis que dela se medem (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Segundo Caraglio e Barthélémy (2003) o crescimento de uma árvore pode ser considerado de diversas maneiras, em função do tipo de órgão ou do nível de organização considerado. Estudos florestais geralmente consideram o crescimento do tronco, avaliando-se, muitas vezes em conjunto, o crescimento primário (altura) e o crescimento secundário (diâmetro).

O crescimento primário é resultado de dois mecanismos: organogênese e alongamento (CARAGLIO; BARTHÉLÉMY, 2003). A organogênese acontece no ápice caulinar, onde são gerados os novos elementos do caule, como produto de intensa atividade mitótica. Já o alongamento do caule é uma manifestação do crescimento primário que pode ser observado diretamente na planta, como resultado do alongamento celular da zona pouco abaixo do domo apical (CARAGLIO; BARTHÉLÉMY, 2003). Portanto, o crescimento em altura está associado às atividades organogenéticas do meristema apical e ao alongamento entrenós (MOREY, 1980).

Por sua vez, o crescimento secundário, que resulta no aumento da espessura do caule, é resultado da atividade do câmbio vascular. Morey (1980) explica que as células cambiais se dividem no plano tangencial dando origem a filas de elementos do lenho e floema alinhados radialmente, originando um deslocamento gradual, para fora, do próprio meristema. No interior deste eixo as células se diferenciam e o cerne lenhoso cresce por adição.

O crescimento primário, ou crescimento em comprimento, pode ser qualificado de diversas maneiras, em função da duração do seu acontecimento e de sua modalidade de expressão no tempo (CARAGLIO; BARTHÉLÉMY, 2003). Neste sentido o crescimento em altura pode ser identificado como definido ou indefinido, contínuo ou rítmico.

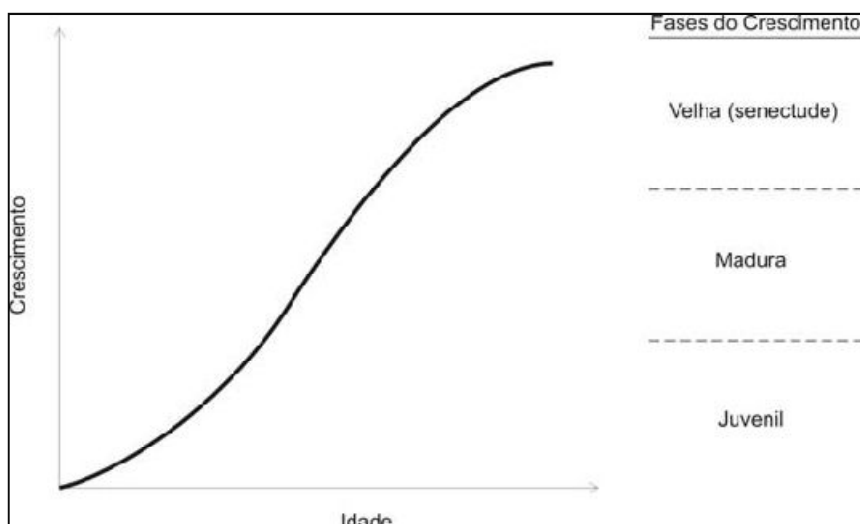
O crescimento definido ocorre quando o meristema apical em algum momento de seu desenvolvimento se transforma em uma estrutura incapaz de continuar com seu crescimento vegetativo (flor, espinho) ou morre sozinho. Por sua

vez, o crescimento indefinido ocorre nos vegetais cujo meristema apical guarda potencial para funcionar indefinidamente (CARAGLIO; BARTHÉLÉMY, 2003).

Já o crescimento contínuo refere-se às plantas cujo meristema apical conserva permanentemente um grande número de esboços foliares, como é o caso da palmeira dendê (*Elaeis guineensis* Jack) ou do coqueiro (*Cocos nucifera* L.). Nesse caso a organogênese e o alongamento ocorrem simultaneamente. A mesma situação não acontece nas espécies que apresentam o crescimento rítmico, nas quais o meristema apical de caules apresenta períodos de atividade celular separados por períodos de repouso. Este tipo de crescimento foi primeiramente observado para uma espécie arbórea tropical em *Hevea brasiliensis* L. (CARAGLIO; BARTHÉLÉMY, 2003).

Segundo Encinas, Silva e Pinto (2005) os parâmetros de medição do crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume de uma árvore, apresentam comportamentos semelhantes ao longo do tempo, sendo que a representação gráfica resulta em uma curva sigmoideal, que ilustra uma seqüência de fases, onde a primeira corresponde à idade juvenil, a segunda a maturidade e a terceira a idade senil (Figura 1).

FIGURA 1 - FORMA TÍPICA DA CURVA DE CRESCIMENTO DE UMA ÁRVORE



FONTE: Encinas, Silva e Pinto (2005)

De acordo com Encinas, Silva e Pinto (2005) o ritmo de crescimento é influenciado por fatores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo. Este último sempre estará atrelado ao crescimento e é por este motivo que se procura conhecer a idade de uma árvore.

Os fatores necessários para o crescimento de uma árvore são a luz do sol, água, nutrientes minerais, uma temperatura adequada, oxigênio e dióxido de carbono, e a interação desses fatores influencia diretamente a dinâmica de crescimento de determinada espécie, seja em florestas nativas ou em plantios (OLIVER; LARSON, 1996). Para Burger (1980) o desenvolvimento das árvores é influenciado por fatores genéticos, ecológicos (sítio) e antrópicos (tratamento pelo homem)

Anualmente, ocorrem variações dos múltiplos fatores que determinam a dinâmica de crescimento (fotoperíodo, temperatura, umidade do ar). Quanto mais favoráveis forem esses fatores, mais as árvores crescem. De acordo com Encinas, Silva e Pinto (2005) quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento das árvores, estas expressam sua máxima capacidade de crescimento. Há, portanto, uma predisposição genética que orienta o crescimento, que por sua vez é regido pelo ambiente.

2.3.1 A idade das árvores

Como anteriormente descrito, a variável tempo está intimamente relacionada com o crescimento. Assim, conhecer a idade das árvores é fundamental para entender sua dinâmica de crescimento. Segundo Encinas, Silva e Pinto (2005) na mensuração florestal a idade da árvore é uma variável muito importante, especialmente na estimativa da produção florestal, sendo utilizada principalmente nas avaliações de crescimento e produtividade de um sítio e nos planos de ordenamento florestal.

Segundo Souza⁷, apud Encinas, Silva e Pinto (2005), a idade de uma

⁷ SOUZA, P. F. de. **Terminologia Florestal**, glossário e termos e expressões florestais. Guanabara (RJ): Fundação IBGE, 1973. 340 p.

árvore corresponde ao número de anos transcorridos desde a germinação da semente, ou da brotação das touças de uma raiz, até o momento em que é observada ou medida. Ainda, segundo esses autores, o tamanho das árvores é uma função do período de tempo em que elas se desenvolveram. Sobre este período de tempo, o tamanho do indivíduo é resultante da genética e do ambiente.

Para se estimar a idade das árvores são aplicados diferentes métodos. Muitos silvicultores estimam a idade das árvores somente pelo porte ou aparência geral, embora isto exija um largo conhecimento empírico sobre o comportamento das árvores plantadas ou regeneradas em uma dada região.

Um método mais preciso do que o anterior, e muito utilizado para coníferas, é empregado há muito no Hemisfério Norte. Trata-se da contagem dos verticilos. Esta técnica assume o pressuposto que a cada ano, no fim da estação de crescimento, a árvore forma a gema apical no extremo do caule. Quando o crescimento é retomado a gema apical cresce como um novo broto e em sua base formam-se os verticilos. Assim, contando o número de verticilos, incluindo aqueles que já caíram, pode-se estimar a idade da árvore e medindo a distância entre eles pode-se avaliar o incremento em altura de um ano para outro (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). Este método também requer muita experiência para ser empregado, pois em muitos casos a árvore pode formar mais ou menos do que um verticilo por ano, dependendo da espécie, do sítio e das condições ambientais específicas.

Seguramente a forma mais precisa para estimar a idade de uma árvore é a contagem dos anéis de crescimento. Botosso e Mattos (2002) citam que em regiões de clima temperado os anéis de crescimento representam o incremento anual das árvores, sendo distintos o lenho inicial ou primaveril e o lenho tardio, outonal ou estival. Esta alternância é particularmente explícita nos troncos das coníferas. No caso das folhosas, em especial aquelas que se desenvolvem em climas mais homogêneos, como na maior parte do Brasil, tem-se anéis indistintos ou pouco evidentes, que nem sempre correspondem a um ciclo anual de crescimento. Ainda assim existem diversas espécies nativas brasileiras com potencial para estudos dendrocronológicos (BOTOSSO; MATTOS, 2002). Técnicas modernas de

medição têm auxiliado este processo, como a densitometria de raios-X (WEHR; TOMAZELLO FILHO, 2000).

2.3.2 Crescimento, incremento e produção florestal

Os termos crescimento, incremento e produção florestal definem diferentes aspectos da dinâmica de desenvolvimento de uma árvore ou de uma floresta. O crescimento refere-se a mudança dimensional da variável de interesse (altura, diâmetro) de uma árvore. A diferença numérica entre estas medições expressa o crescimento.

Já o incremento refere-se ao que cresce em uma árvore em um período sucessivo de tempo. Portanto, medidas sucessivas são necessárias para se obter tal valor, considerando a mudança de tamanho no início e no fim do período analisado. Por sua vez, a produção líquida de uma floresta é o resultado do crescimento da árvore em tamanho, peso e volume (Burger, 1980).

Burger (1980) define que o incremento é o acréscimo de um elemento (diâmetro, altura, peso) dentro de um determinado intervalo de tempo. Segundo o autor citado esta variável pode ter diferentes abordagens:

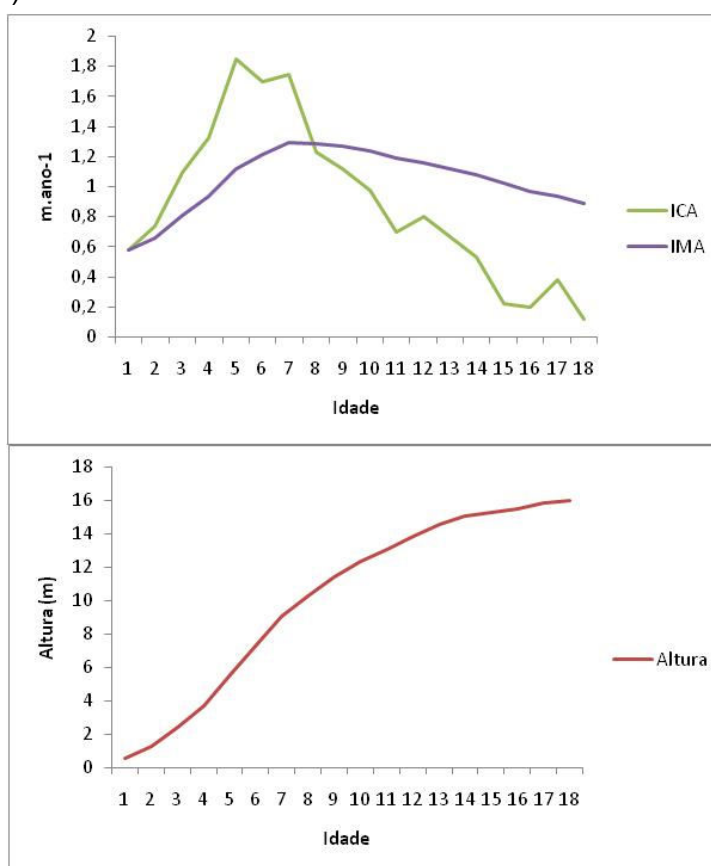
- ICA – incremento corrente anual, ou seja, o incremento no intervalo de um ano qualquer;
- IP – incremento periódico, ou seja, o incremento em determinado período;
- IPA – incremento periódico anual, ou seja, o incremento médio durante um determinado período de anos;
- IMA – incremento médio anual, isto é, incremento médio anual a partir da idade 0 (zero) até uma determinada idade.

A curva do ICA é a primeira derivação da curva de crescimento, sendo assimétrica positiva, com dois pontos de inflexão e um ponto de máximo. Já a curva do IMA é do mesmo tipo, porém sobe mais suavemente, tem seu ponto de máximo no cruzamento com a curva de ICA e desce vagarosamente (Burger, 1980). A interpretação gráfica destas relações pode ser observada na Figura 2, embora os dados plotados sejam valores absolutos, ou seja, as curvas não sofreram ajustes de

regressão.

Pelo exposto percebe-se que quando o estudo do crescimento, de maneira geral, refere-se às variáveis dendrométricas altura e diâmetro, o incremento refere-se ao crescimento acumulado em dado período de tempo e a produção é o resultado do crescimento, a qual se mede em volume ou peso da biomassa, acumulada até uma determinada idade.

FIGURA 2 — CURVAS DOS INCREMENTOS CORRENTES (ICA) E MÉDIOS ANUAIS (IMA) E DO CRESCIMENTO EM ALTURA



Fonte: Dados extraídos de Burger (1980), obtidos na medição periódica de uma *Araucaria angustifolia*, plantada em Monte Alegre-PR.

2.3.3 Crescimento em altura e em diâmetro

O crescimento em altura num ano depende entre outros fatores das condições climáticas deste ano. No entanto, como a organogênese, ou formação da gema apical acontece no final do último período vegetativo, o crescimento em altura é altamente influenciado pelas condições climáticas do ano anterior. Segundo

Burger (1980), mesmo que as condições climáticas exerçam influência nos incrementos correntes anuais, verifica-se o desenvolvimento típico do ICA em altura. Segundo este autor, o ICA_h culminará mais cedo em espécies intolerantes (heliófilas), em sítios bons e para as árvores de melhor crescimento no povoamento.

Existem limites de crescimento em altura para cada espécie, sendo que a maior altura reportada para uma árvore até hoje é de 112,7 m, no caso uma sequóia da floresta temperada no norte da Califórnia (Koch et al. 2004). Esses autores, baseados em estudos ecofisiológicos, defendem que o limite de crescimento em altura de uma árvore daquela espécie seria entre 122 e 130 m.

Segundo Burger (1980), o crescimento em diâmetro segue a mesma tendência do crescimento em altura. No entanto, a espessura do anel de crescimento não é a mesma em todas as alturas da árvore. Os estudos de Larson (1963) foram importantes neste campo e elucidaram várias questões sobre a relação entre a formação da copa e o crescimento do caule, bem como a questão do afinamento do tronco. Esse autor descobriu que a partir do ápice do tronco a espessura do anel aumenta até a base da copa viva e deste ponto decresce até atingir cerca de 20% da altura da árvore, onde novamente aumenta até a base da árvore.

Segundo Fritts⁸, citado por Kariuki (2002), o crescimento em altura e em diâmetro no ápice do tronco iniciam ao mesmo tempo, mas o crescimento em altura pode cessar antes do que o crescimento em diâmetro. Segundo o autor citado, a atividade e o montante de reguladores de crescimento produzidos antes da interrupção do crescimento em altura é que irá determinar o quanto ainda aumentará o diâmetro até o final da estação de crescimento. Consequentemente, o crescimento em diâmetro está diretamente relacionado com a grandeza e duração do crescimento em altura.

⁸ Fritts, H. C. **Tree Rings and Climate**. Londres: Academic Press, 1976, 567 p.

2.3.4 Relações hipsométricas

A medição das alturas das árvores é uma tarefa bem mais laboriosa do que a medição dos diâmetros. Crechi (1996) explica que, apesar do desenvolvimento de aparelhos cada vez mais sofisticados, ainda assim o problema de visualização da base e do ápice da copa, a certa distância, é bastante dificultada quanto mais densa for a floresta. Assim, os florestais comumente recorrem a modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica, a fim de estimar as alturas das árvores com base nos diâmetros.

O autor citado afirma que uma função hipsométrica descreve a relação funcional entre as alturas e os diâmetros à altura do peito das árvores de um povoamento florestal, sendo uma ferramenta de grande utilidade no manejo. Ainda, segundo esse autor, a relação hipsométrica é muito usada no processamento de dados de inventários, na aplicação de modelos de crescimento e produção, na determinação da altura dominante para caracterizar sítios, entre outras.

Quanto a escolha do modelo mais adequado para ajuste da relação hipsométrica diversos trabalhos têm sido realizados. Estes modelos, lineares e não-lineares, podem considerar apenas o diâmetro como variável independente, ou ainda outras variáveis adicionais como a idade e a altura dominante. Leite e Andrade (2003) discorrem que são duas alternativas para estimar a altura total de árvores que tiveram apenas o *dap* medido em parcelas de inventário: a) uso de relações funcionais do tipo $Ht=f(dap)$, por parcela; e b) uso de relações funcionais do tipo $Ht=f(dap, Hd)$ para um conjunto de parcelas, além das relações $Ht=f(dap, Hd, I)$ e $Ht=f(dap, I, S)$, onde *Hd* é a altura dominante, *I* é a idade e *S* o índice de sítio do local.

Crechi (1996) estudou os modelos de Curtis e Blanco Jorge, também denominado Prodan modificado, e elegeu o primeiro como de melhor resultado para um povoamento de araucária com 25 anos e densidade variável, sendo que ambos consideram o diâmetro e a idade no ajuste.

Obviamente que em florestas jovens a determinação das alturas não é lá um grande problema e utilizar a relação hipsométrica como estimador das alturas

parece não ser o caso. Contudo, mesmo na fase inicial de crescimento, o ajuste da relação hipsométrica pode fornecer indicativos da qualidade dos sítios e do desenvolvimento das árvores. Segundo Burger (1980) a inclinação da curva hipsométrica pode expressar a qualidade do sítio e a dinâmica de desenvolvimento, de tal forma que em povoamentos jovens, em sítios bons, a curva é bastante íngreme, sendo mais suave em povoamentos velhos ou em sítios ruins.

Bartoszeck et al. (2004) estudaram as variações da relação hipsométrica em povoamentos de *Mimosa scabrella* Benth. em função da idade, do sítio e da densidade inicial, e concluíram que a última variável foi a única que não afetou a relação hipsométrica. Concluíram também que as curvas hipsométricas são mais íngremes nas idades mais jovens, porém sobem suavemente nas parcelas mais velhas e se deslocam para a direita. Esta observação coincide com a de Crechi (1996) para a *A. angustifolia*.

Huang, Titus e Wiens⁹, citados por Crechi (1996), compararam e avaliaram 20 funções não lineares para estimar a altura a partir do diâmetro, para várias espécies, e concluíram que os modelos sigmóides são os mais recomendáveis para descrever a relação hipsométrica, incluindo as funções Weibull, logística modificada, Chapman-Richards e Schnute.

2.3.5 Estudos do crescimento florestal

Duas metodologias são empregadas para o estudo do crescimento das árvores. Segundo Daniel e Yared (1987) o crescimento passado de uma floresta ou de povoamento florestal pode ser conhecido a partir de medições periódicas ou por meio da análise de tronco, para aquelas espécies que possuem anéis de crescimento visíveis.

As medições periódicas são realizadas por meio de inventários sucessivos, também denominados de múltiplas ocasiões (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1995). Este sistema exige a instalação de parcelas permanentes, onde as

⁹ HUANG, S.; TITUS, S. J.; WIENS, D. P. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta trees species. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v. 22, p. 1297-1304, 1992.

árvores são numeradas e em intervalos constantes são medidos os atributos de interesse, geralmente altura e diâmetro. Esta técnica tem sido amplamente utilizada no Brasil nos últimos anos, em diferentes formações florestais, sendo para a Floresta Ombrófila Mista pode-se mencionar os trabalhos de Sanquetta (2008), Péllico Netto, Coraiola e Weber (2008) e Longhi, Araújo e Brena (2008), como exemplos relevantes.

Esta metodologia possui vantagens e desvantagens e fornece dados do incremento entre os intervalos das medições. A principal limitação do inventário contínuo são os custos envolvidos com a manutenção e remedição de parcelas permanentes. Outra questão é o fato de que são raros os casos onde se conhece a idade das árvores, sendo praticamente impossível sua utilização para o cálculo do incremento médio anual. Nestes casos as estimativas ficam limitadas ao Incremento Periódico e ao Incremento Corrente, por espécie e para a comunidade, o que não deixa de ser uma poderosa ferramenta para o manejo florestal.

Outra possibilidade de estudos de crescimento de árvores que vem sendo cada vez mais usada é a instalação de cintas dendrométricas, ou dendrômetros, no tronco da árvore. Estes instrumentos permitem leituras acuradas do crescimento das árvores, com uma precisão muito boa (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006).

A outra técnica, conhecida como análise de tronco, é a mais aplicada em estudos de crescimento florestal e é descrita no próximo item.

2.3.6 A análise de tronco

A metodologia mais precisa para avaliar conjuntamente a idade e o crescimento de uma árvore é a contagem e medição dos anéis de crescimento, respectivamente, quando, obviamente, não se conhece a data de plantio. Isto resulta da análise de tronco, também conhecida como ANATRO, uma técnica aplicada na avaliação de todo o ciclo de crescimento de uma árvore, que vem sendo utilizada há muito tempo na ciência florestal. Mlodziansky¹⁰, citado por Dyer e Bailey (1987),

¹⁰ Mlodziansky, A. K. Measuring the forest crop. **USDA Div. For. Bull.** 20, 1898, 71 p.

afirma que a análise de tronco é parte do trabalho de mensuração de florestas nos Estados Unidos desde o final do Séc. 19.

Esta técnica fornece valiosas informações, tais como: determinação da idade, classificação de sítio, estudo da forma, cálculo dos incrementos, rotação e resposta ao desbaste (DANIEL; YARED, 1987).

A grande desvantagem deste método é o fato de se tratar de uma técnica destrutiva, onde a árvore obrigatoriamente deve ser cortada. Como alternativa, existe um instrumento chamado Trado de Pressler que retira apenas um baguete cilíndrico do tronco, mantendo a árvore viva (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). Sem dúvida que existem limitações no procedimento não destrutivo, pois não é possível a verificação de falsos anéis, entre outras desvantagens. Assim, esta metodologia é mais indicada para avaliação comparativa do crescimento recente e não de todo o ciclo de vida da árvore (OLIVEIRA et al. 2007).

A análise de tronco deve ser precedida da definição dos critérios para seleção das árvores. Segundo Daniel e Yared (1987) se a intenção for a classificação de sítios o recomendável é que sejam avaliadas árvores dominantes, uma vez que essas não são influenciadas por eventuais desbastes realizados (BURGER, 1980). Para a definição do número de árvores Daniel e Yared (1987) recomendam que com três unidades por classe de idade ou sítio, já seria possível a obtenção de boas estimativas.

Após a seleção e localização da árvore, procede-se a derrubada, sendo o corte o mais rente à base quanto possível. A partir daí amostras transversais (discos) são retiradas de toda a extensão do tronco, geralmente em intervalos fixos, procurando-se evitar a coincidência da altura de corte com os nós. A espessura recomendada para os discos é de pelo menos 05 centímetros, para não racharem, e não mais do que 10 centímetros, o que dificultaria a secagem das amostras (DANIEL; YARED, 1987). Recomenda-se que os discos sejam numerados em campo, com canetas de tinta permanente, fitas rotuladoras ou adesivos (BARUSSO, 1977, DANIEL; YARED, 1987).

Após estarem completamente secos os discos devem ser lixados para

melhor visualização dos anéis de crescimento. O próximo passo é a medição dos anéis, fase essa a mais laboriosa do processo. A primeira etapa é a marcação do maior raio com o auxílio de um compasso. A partir deste raio marca-se uma linha em um ângulo de 45° e traçam-se os dois diâmetros perpendiculares entre si (DANIEL; YARED, 1987). Barusso (1997) recomenda que os cruzamentos dos anéis de crescimento com as linhas dos quatro raios sejam também marcados para facilitar a medição (BARUSSO, 1977).

A medição dos anéis pode ser feita com uma régua de boa precisão, coincidindo seu zero com a medula, anotando-se a distância deste ponto até a extremidade do anel que está se medindo (DANIEL; YARED, 1987). Mais recentemente foram criados instrumentos modernos de medição, que fornecem leituras mais precisas, além de poupar tempo para sua execução. Um bom histórico sobre a evolução das técnicas de medição dos anéis de crescimento foi elaborado por Santos (2006). Por sua vez Rosot (2002) fez uma resenha de métodos fotográficos para a análise de tronco e propuseram uma nova metodologia, a qual foi denominada análise de tronco digital.

A “leitura” dos anéis de crescimento, contudo, não fornece a idéia exata da altura atingida pela árvore em cada ano de vida, uma vez que as amostras de tronco não necessariamente são cortadas na altura de término do anel. Esta ponta escondida, ou “*hidden tip*”, como citam Dyer e Bailey (1987), pode ter sua altura estimada por meio de algoritmos próprios. Embora onerosa e morosa outra opção é serrar o tronco no sentido longitudinal, rente a medula, e localizar o término do anel, o que, por motivos operacionais, raramente é feito em pesquisas florestais.

Barusso (1977) forneceu algumas alternativas gráficas para a resolução do problema. Para isso ele instrui que seja feita primeiramente a construção gráfica do perfil do tronco com os dados obtidos pela ANATRO. A partir daí a primeira opção seria traçar uma linha com o mesmo ângulo da ponta da árvore considerando o último anel, ou seja, a casca. Outra forma seria traçar a linha que atinge a medula, paralelamente ao ângulo formado pelo anel externo subjacente, ou ainda traçar a linha com o mesmo ângulo do que este anel possui à altura de 1,30 m.

Discrepâncias nas estimativas da altura final atingida pelo anel de acordo com a metodologia empregada vêm sendo reportadas na literatura florestal há décadas. Dyer e Bailey (1987) avaliaram 6 métodos disponíveis naquela época para a análise de tronco completa e concluíram que o método de Carmean, apresentado em 1972, seria o mais preciso, enquanto outros modelos produziram resultados insatisfatórios, nesse caso para a ANATRO de *Pinus elliottii*, com idades entre 18 e 22 anos, na Georgia, Estados Unidos. Mais tarde Newberry (1991) publicou uma nota com uma pequena mudança no algoritmo de Carmean, para o cálculo da altura da última seção do tronco, melhorando a estimativa da altura total da árvore.

O método de Carmean leva em consideração dois pressupostos. O primeiro é que o crescimento anual em altura é constante para qualquer ano, independentemente de estar completamente ou parcialmente contido dentro da mesma seção e que, em média, o disco é retirado na metade do crescimento anual em altura (CARMEAN, 1972; NEWBERRY, 1991).

Contudo, a altura do corte transversal não está relacionada com o crescimento anual em altura e, além disto, pode haver discrepâncias quando mais de um anel termina na mesma seção do tronco (FABBIO; FRATEGIANI; MANETTI, 1994). Pensando nisso, esses autores propuseram um novo algoritmo, o qual foi denominado ISSA. A diferença deste para outros métodos está na concepção do modelo, que considera a possibilidade de haver mais de dois anéis terminando dentro de uma mesma seção de tronco. Por fim, concluíram que o método deles só seria mais preciso se fossem tomadas seções transversais em intervalos bem curtos e eqüidistantes, e que o método de Carmean seria melhor para cortes mais espaçados ao longo do tronco.

Uma inovação foi proposta por Kariuki (2002) e aplicada para o estudo do crescimento em altura de *Eucalyptus fastigata* Deane & Maiden. Este autor, estimulado pela difusão da tecnologia de medição da largura dos anéis de crescimento, criou um algoritmo denominado TARG, acrônimo de *Tree Ring Annual Growth*. A conclusão publicada é que os métodos de contagem dos anéis, no caso Carmean e Lenhart, são aplicáveis somente quando não se dispõe de tecnologia

para a medição precisa da largura dos anéis. Concluiu, ainda, que o método criado fornece melhores estimativas, inclusive para seções tomadas em alturas não eqüidistantes.

Lappi (2006) apresentou um método de ajuste que “suaviza” a curva altura/idade com o uso de técnicas de programação linear. Este autor explica que a metodologia é um complemento da técnica ISSA e a denominou de método LP (*Linear Programming*). Ele conclui que sua aplicação é mais indicada para estimativas do incremento anual em altura do que para alturas acumuladas e que mais testes deveriam ser efetuados, dado ser um método de cálculo mais sofisticado, mas ainda assim passível de gerar imprecisões.

2.3.7 Classificação de sítios

Segundo Gonçalves (1988), a prática da silvicultura moderna requer um adequado aproveitamento do solo, o que implica na utilização de cada porção do terreno em consonância com as aptidões e limitações locais.

O sítio representa um conjunto de valores que abrangem os fatores climáticos, edáficos e biológicos que exercem influência no desenvolvimento do povoamento em determinado local (BURGER, 1980). Scheeren et al. (1999) enfatizam que a delimitação de sítios é muito importante para o planejamento florestal, uma vez que define unidades de produção com características ecológicas próprias e, por conseqüência, com ritmos de crescimento semelhantes. No entanto, a classificação de sítios é uma tarefa complexa, pois existem inúmeros fatores que podem influir na produtividade florestal.

Em termos gerais, a qualidade do sítio, no espectro do manejo florestal, é avaliada em função do potencial de produção volumétrica de madeira. Para Gonçalves (1988) a expressão sítio, do inglês “*site*”, é utilizada para designar uma unidade de área indivisível em termos de produtividade florestal, sendo reflexo, em última análise, da interação de todas as variáveis biológicas e ambientais (pedológicas, topográficas e climáticas) que afetam o crescimento.

Burger (1980) explica que podem ser empregados diferentes métodos

para a classificação de sítios, baseados em duas linhas principais. A primeira refere-se ao método ambiental onde são considerados fatores biológicos, físicos, químicos, topográficos e climáticos da região. Por sua vez, o método dendrométrico baseia-se na capacidade produtiva de cada unidade, expressa pela altura dominante, que serve como referência para a construção das curvas de índice de sítio ou curvas-índice (Burger, 1980). Para Carmean (1972) e Rennie¹¹, citado por Gonçalves (1988), estes métodos podem ser agrupados em indiretos e diretos, respectivamente.

Pode-se ainda integrar os dois métodos, representando uma visão mais completa das unidades produtivas (BURGER, 1980; SCHEEREN et al., 1999, GONÇALVES, 1988).

Segundo Scheeren et al. (1999), há muito tempo os pesquisadores florestais vêm buscando encontrar um parâmetro dendrométrico ideal para ser utilizado como indicador da qualidade do sítio. Para Burger (1980) um bom estimador deve ser de fácil determinação no campo, possuir boa correlação com a produção volumétrica, indicar a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento e ser independente da densidade do povoamento. Neste sentido, a altura dominante tem sido amplamente utilizada com tal finalidade.

Os mesmos Scheeren et al. (1999) citam que a altura dominante do povoamento é utilizada em quase todo o mundo para definir o índice de sítio. Segundo Pritchett (1979) o índice de sítio é o termo usado para expressar a altura média das árvores dominantes, ou das dominantes e codominantes conjuntamente, em uma idade específica.

Nutto (2001) relembra que a classificação de sítio pelo uso da altura dominante tem a vantagem de ser pouco influenciada pelo espaçamento e, portanto, pelos desbastes realizados no período de rotação. Entretanto, as curvas de altura, em razão da idade, não permitem interpretações causais sobre os fatores limitantes do crescimento. O mesmo autor defende que o uso de diversas variáveis

¹¹ RENNIE, P. J. Methods of assessing site capacity. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford (42): 206-317, 1963.

dendrométricas e suas relações podem fornecer idéias interessantes sobre o crescimento da árvore, além de servir como ferramenta auxiliar na classificação de sítios.

Em relação aos métodos indiretos de classificação de sítios, Gonçalves (1988) cita o método solo-sítio e o levantamento de solos. O primeiro se baseia na locação de parcelas em diversos sítios representativos de uma série de solos, topografias e climas encontrados em uma dada área florestal ou região. O índice de sítio destas parcelas é então correlacionado com as características de solo. As equações de regressão múltipla geradas são utilizadas para estimação do índice de sítio em áreas com características semelhantes.

Sobre o levantamento de solos, Gonçalves (1988) ressalta que existem limitações impostas por peculiaridades locais e regionais de difícil mapeamento. Este autor, em sua proposta metodológica, baseado na influência dos fatores relevo, textura e fertilidade do solo, conclui que o método pode ser empregado como a primeira etapa na classificação da qualidade do sítio. Em etapas posteriores, as unidades de solo mapeadas e interpretadas, em função da produtividade, deverão ser novamente avaliadas e, se preciso for, subdivididas em função da homogeneidade do índice de sítio.

Gerhardt et al. (2001) aplicaram a análise multivariada como ferramenta para classificação de sítios, obtendo bons resultados com esta técnica estatística. Por meio da análise de agrupamentos e análise discriminante os autores elencaram dentro de um grande conjunto de variáveis, ambientais e dendrométricas, quais seriam as mais importantes para a determinação dos potenciais produtivos de diferentes talhões. A inclusão das variáveis biométricas e suas relações, nas análises efetuadas por Scheeren et al. (1999), demonstraram que o sistema de classificação de sítios, baseado somente em variáveis de solo, pode misturar tendências de crescimento em alturas dominantes distintas.

Sobre a análise multifatorial de sítios, De Hoog (1981) afirma que a análise dos componentes principais é um ótimo recurso, pois envolve o estudo das inter-relações entre as variáveis independentes com o objetivo de agrupar as

variáveis que estão fortemente relacionadas, além de testar seu efeito na variabilidade total das variáveis dependentes. Segundo este autor, as informações daí derivadas fomentam conclusões que estão um passo adiante da análise de correlação simples.

Avanços na utilização de técnicas multifatoriais para a classificação de sítios foram apresentadas por Fincher e Smith (1993), que descrevem uma metodologia de classificação ecológica de sítios. Os autores citaram e aplicaram as técnicas anunciadas por Hill^{12,13}, denominadas TWINSPAN (*two-way indicator species analysis*) e DECORANA (*detrended correspondence analysis*), obtendo resultados interessantes e gerando funções discriminantes para a classificação de sítios em uma extensa área de florestas na região da Nova Inglaterra, nos Estados Unidos.

Resultados expressivos da aplicação do método de classificação ecológica de sítios foram igualmente obtidos por Kerr e Cahalan (2004). Esses autores empregaram a metodologia para o mapeamento de toda a Inglaterra no que diz respeito à aptidão para o cultivo florestal de *Fraxinus excelsior* L., o que resultou numa série de recomendações para a seleção de sítios naquele país.

2.3.8 Crescimento e arquitetura das árvores

Diversos estudos têm sido aplicados para entender o crescimento e a produção primária das árvores com base em modelos arquitetônicos. Hallé (1999) afirma que os padrões de ramificação, o ritmo de crescimento, a orientação dos eixos de ramificação e a distribuição das partes reprodutivas são pontos chave para a determinação do modelo arquitetural de uma árvore.

Plourde e Krause (2004) realizaram um estudo com *Pinus banksiana* Lamb. no Canadá e concluíram que há diferenças na arquitetura entre as árvores

¹² HILL, M. O. **DECORANA-a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging**. Ithaca, NY: Cornell University. 1979.

¹³ HILL, M. O. **TWINSpan-a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals attributes**. Ithaca, NY: Cornell University. 1979.

crescendo em povoamentos implantados e aqueles oriundos de regeneração natural. Estes autores basearam seu estudo na hipótese de que a arquitetura da árvore representa um balanço entre o processo de crescimento (fatores endógenos) e o “stress” imposto pelo ambiente (fatores exógenos), complementando as informações geradas pelo estudo dos anéis de crescimento.

King et al. (1997) mostraram algumas relações existentes entre o espaçamento dos galhos e o crescimento em espécies tropicais, em diferentes condições de exposição à luz. Por sua vez, Kantola e Mäkelä (2006) estudaram a proporção de biomassa para *Picea abies* Karst. e concluíram que existe uma relação direta entre a área basal dos galhos e o diâmetro no ponto de inserção destes no tronco.

Osada e Takeda (2003) afirmam que a arquitetura dos ramos está relacionada com a posição dos galhos e a altura da planta. Os autores discutem que espécies com ramos plagiotrópicos possuem uma estratégia de partição destes no plano vertical, devendo haver uma estratégia diferente de alocação de carbono para as árvores jovens, visto que nessa fase sua arquitetura é diferente da fase adulta. Indica também o autor a proporcionalidade existente entre o crescimento da área foliar e o crescimento em altura da planta, controlado pelo tamanho e número de folhas.

Szymura (2005) estudando possíveis relações entre a idade, a arquitetura da copa, a altura e o incremento em altura de *Abies alba* (Mill.) concluiu que o comprimento da copa está diretamente relacionado com o incremento em altura, embora a idade não esteja correlacionada com nenhuma das variáveis analisadas. O autor ainda esboçou uma avaliação da vitalidade das árvores baseado na arquitetura das copas.

2.3.9 Relações morfométricas

O estudo da morfometria busca o conhecimento do espaço vital ocupado por cada árvore, o que fornece uma idéia do grau de concorrência de um povoamento e permite, ainda, gerar inferências sobre a estabilidade, a vitalidade e a

produtividade de cada indivíduo (DURLO; DENARDI, 1998). Daí pode-se também buscar inferências a respeito da qualidade do sítio.

O diâmetro de copa é uma variável básica para dedução de outras características das árvores e corresponde à distância entre as linhas de projeção dos pontos mais externos da copa (NUTTO, 2001). Esta informação é utilizada para calcular o espaço vital de uma árvore. Segundo Nutto (2001) o crescimento e expansão da copa estão intimamente relacionados com o crescimento em diâmetro do tronco.

O volume de copa, calculado pelo sólido que mais se assemelha à sua forma, assim como o manto de copa, calculada como a área superficial deste mesmo sólido, podem, igualmente, ser usados para estimar o vigor de crescimento. Contudo, muitos autores defendem a eficiência da projeção da copa como melhor variável no caso de se estimar algum dado parâmetro de produtividade (DURLO; DENARDI, 1998; NUTTO, 2001).

A relação entre o diâmetro de copa e o DAP foi denominada índice de saliência, conforme proposta de Durlo e Denardi (1998). Esse índice expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o DAP. Estudos indicam que o acompanhamento do grau de correlação entre estas variáveis serve de indicativo do momento ideal do desbaste (TONINI; ARCO-VERDE; 2005; DURLO; DENARDI, 1998).

Outra variável morfométrica é a relação entre o diâmetro da copa e a altura total da árvore. Durlo e Denardi (1998) denominaram esta relação como índice de abrangência e indicaram sua potencialidade como indicador do momento do desbaste, desde que se comprove haver uma correlação positiva entre estas variáveis.

Por fim é possível ainda calcular o formal de copa, que expressa a relação entre o diâmetro da copa e sua altura. Quanto menor o formal de copa melhor é a produtividade da árvore (DURLO; DENARDI, 1998), uma vez que, considerando duas árvores da mesma espécie, aquela que tiver o menor formal é mais produtiva.

Péllico-Netto (1986) fez uma importante proposição de aproveitamento de

algumas variáveis morfométricas para o cálculo da densidade de um povoamento. Em sua fórmula leva-se a altura da planta, a porcentagem de copa e o índice de abrangência modificado, nesse caso, expressando a razão entre o diâmetro de copa e a altura de copa, obtendo bons resultados na avaliação da densidade do povoamento.

2.4 O CRESCIMENTO DA ARAUCÁRIA EM FUNÇÃO DO SÍTIO

O crescimento da araucária está diretamente correlacionado com a qualidade do sítio (DE HOOG, 1981). Porém, mesmo em sítios bons, a dinâmica de crescimento varia ao longo do ciclo vital da árvore. Logo após o estabelecimento das plantas o crescimento é lento, aumentando gradativamente a partir do terceiro ano de vida da árvore.

Com o avanço da idade do povoamento e, conseqüentemente, com o início da competição entre as árvores, o ritmo de crescimento da espécie varia novamente. Na fase adulta o crescimento desacelera, permanecendo constante até que o vegetal alcance a senilidade, quando o crescimento cessa e a árvore sobrevive até o seu limite vital (NUTTO, 2001). Todo este ciclo pode durar mais de 300 anos (CARVALHO, 1994).

Carvalho (1994) afirma que apenas 25% da área de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* mostra-se ideal para o seu cultivo, em função de limitações de sítio que repercutem em menores produtividades. Segundo o autor existem plantios que alcançam $26 \text{ m}^3/\text{ha.ano}^{-1}$, enquanto outros mostram uma produção vinte vezes menor.

Segundo o autor supracitado o crescimento inicial do pinheiro é lento, porém a partir do terceiro ano, em sítios adequados, apresenta um incremento anual em altura de 1 m e maiores a partir do quinto ano, e incremento diamétrico na ordem de 1,5 a $2,0 \text{ cm.ano}^{-1}$.

Para De Hoog e Dietrich (1978, 1979) a *Araucaria angustifolia* demonstra diferentes níveis de crescimento de acordo com o índice de sítio. Em sítios excelentes o Incremento Médio Anual - IMA deve se situar entre 18 e $22 \text{ m}^3/\text{ha.ano}^{-1}$,

em sítios bons entre 10 e 16 m³/ha.ano⁻¹ e em sítios de lento crescimento entre 6 e 10 m³/ha.ano⁻¹.

2.4.1 A influência do solo

Segundo Fernández (1989) o crescimento da araucária varia em função das características edáficas e neste contexto as variáveis morfológicas e físicas do solo são mais determinantes do crescimento em altura do que as variáveis químicas. De acordo com Blum (1980) isto é esperado uma vez que parâmetros estáveis do solo são condicionantes do status nutricional e microbiológico do sistema, especialmente em relação ao suprimento de água e nutrientes.

De acordo com Cassol (1982) mesmo na área de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* existem povoamentos com baixos incrementos e isto se deve ao aspecto da qualidade do solo. A autora indica que a baixa produtividade dos plantios efetuados em solos inadequados ao cultivo da espécie representou uma série de fracassos que desestimulou os reflorestadores a investir na espécie.

Baseado na qualidade dos solos, Golfari, Caser e Moura (1978) afirmam que apenas em torno de 25% da área de ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* oferece ótimas condições pedológicas para o cultivo florestal da espécie.

Gerhardt et al. (2001) estudaram a influência dos fatores físicos e morfológicos do solo e da quantidade de serapilheira, na classificação de sítios em povoamentos de araucária e concluíram que existem alguns fatores com maior poder de separação de grupos (sítios). Estes se referem à profundidade do solo, aos teores de areia, silte e argila e à densidade do mesmo.

Com base no exposto conclui-se que a avaliação prévia das características do solo é fundamental quando se deseja investir em plantios de araucária. Os fatores mais importantes para esta análise são resumidos a seguir.

2.4.1.1 O tipo de solo

Segundo De Hoogh (1981) os povoamentos de araucária de bom crescimento geralmente se encontram em latossolos, essencialmente determinados

pela boa estrutura, enquanto litossolos e solos hidromórficos são limitantes para o crescimento da espécie. Segundo este autor as características de solo assumem grande importância como fatores determinantes do crescimento da araucária, uma vez que a espécie apresenta uma alta demanda nutricional.

Golfari (1971) e Van Goor (1966) diagnosticaram que os Latossolos Roxos, atual LATOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 1999) seriam os melhores solos para o crescimento da araucária, enquanto solos arenosos e litólicos acarretariam em baixos incrementos se cultivados com a espécie. Dietrich (1977) observou que em um solo Podzólico Vermelho Amarelo, atual ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (EMBRAPA, 1999), bem drenado, a araucária cresceu melhor do que no mesmo tipo de solo com drenagem moderada ou em solo Litólico, NEOSSOLO LITÓLICO segundo Embrapa (1999).

Essas constatações foram corroboradas por Cassol (1982) que concluiu que o Latossolo Roxo, atual LATOSSOLO VERMELHO, apresenta melhores condições para o crescimento e produtividade da *Araucaria angustifolia* em detrimento ao Solo Litólico, atual NEOSSOLO LITÓLICO e ao Gley Pouco Húmico, atual GLEISSOLO, que apresentaram produtividades 63% e 79% menores, respectivamente. Esse estudo foi conduzido em um povoamento implantado em 1955 e com 26 anos na época do experimento, na Floresta Nacional de Passo Fundo - RS.

Pesquisas da EMBRAPA (1988) apontam que os melhores solos para o plantio da espécie são, de fato, os Latossolos Roxos, atual LATOSSOLO VERMELHO, com o pH menor do que seis, profundos, horizonte A bem desenvolvido, altos teores de Ca e Mg, alta saturação de bases, friáveis, porosos e textura franca a argilosa. No entanto, pode-se obter incrementos razoáveis em outros tipos de solo, conforme demonstrou Hoeflich, Graça e Carvalho (1990) em um plantio experimental de conversão de capoeira em CAMBISSOLO HÚMICO, em Colombo – PR, registrando um incremento de $16,6 \text{ m}^3/\text{ha.ano}^{-1}$.

Silva et al. (2001) avaliaram a aptidão de solos para o cultivo de araucária na região de Laranjeiras do Sul, Quedas do Iguaçu e Cascavel, no estado do

Paraná, e concluíram que em LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos e em NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos a produtividade gira em torno de 20 m³/ha.ano⁻¹. Já nos NITOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos e nos NITOSSOLOS HÁPLICOS Distróficos a produtividade oscila em torno de 16 m³/ha.ano⁻¹ e em NEOSSOLOS LITÓLICOS ao redor de 12 m³/ha.ano⁻¹. Por fim os autores reforçam que os GLEISSOLOS HÁPLICOS não possuem aptidão para o cultivo de araucária na região.

2.4.1.2 Os fatores químicos do solo

Há um consenso entre os autores que investigaram a nutrição da espécie que concordam que a araucária se desenvolve satisfatoriamente em solos férteis, em detrimento ao fraco desenvolvimento na falta de elementos essenciais, vide Blum (1980), Alonzo; Ruiz; Morales (1980) e De Hoogh; Van Goor; Blum (1980). De Hoog (1981) e Fernández (1989) afirmam que o nutriente mais importante para a araucária é o N, seguida pela oferta de P.

De acordo com De Hoog (1981) a oferta de N é o fator mais importante e sua carência pode limitar o crescimento da *A. angustifolia* em sistemas de cultivo, seguida pela oferta de P e com menor frequência de K, Ca, Cu e B.

Hoppe e Caldeira (2003a; 2003b) demonstraram que os teores de N e Al no solo se correlacionam positivamente com o crescimento da espécie, bem como as concentrações de Cu e B estão relacionadas com o incremento periódico anual.

Blum (1977) cita que a araucária é mais exigente que o pinus em sistemas de cultivo, pois necessita de mais N, P, K, Ca, Mg e B para o bom crescimento.

Cassol (1982) concluiu que os teores de Ca + Mg trocáveis, pH, acidez de troca, capacidade de troca, soma de bases, percentagem de saturação de bases e, um maior conteúdo de alumínio (saturação), possuem correlação com o crescimento e produtividade de *Araucaria angustifolia*. Segundo esta autora o Alumínio pode influenciar negativamente no crescimento da araucária, mas que em solos de boa qualidade, como o Latossolo Roxo avaliado em seu estudo, o efeito tóxico do

elemento pode ser compensado por outras variáveis, sobretudo os bons atributos físicos do solo.

Em suma, vários autores que investigaram a nutrição da espécie concordam que a espécie se desenvolve satisfatoriamente em solos férteis, em detrimento ao fraco desenvolvimento na falta de elementos essenciais.

2.4.1.3 Os fatores físicos e morfológicos do solo

Dentre as variáveis estudadas por Fernández (1989) as mais influentes na produtividade de povoamentos de *A. angustifolia* são: Espessura do horizonte A+T, a espessura do horizonte A, a percentagem de areia e silte em todos os horizontes, a porosidade total, de aeração e capacidade de água disponível e o carbono orgânico contido no volume de horizonte A+T.

O mesmo autor concluiu que em solos muito profundos e porosos, localizados nas porções mais elevadas do terreno, o crescimento fica prejudicado pela pouca disponibilidade hídrica, assim como em solos rasos, devido às limitações para o desenvolvimento do sistema radicular.

Por outro lado, Cassol (1982) concluiu que não houve correlação entre a densidade do solo e de partícula, porosidade total, macro e microporosidade com as variáveis crescimento e produtividade. No entanto, nos casos de solos mal drenados, a autora afirma que o excesso de umidade do solo afeta negativamente o crescimento. No mesmo estudo lê-se que as frações areia grossa e areia fina não se correlacionaram com o crescimento, mas o teor de silte correlacionou-se negativamente com o crescimento, ao contrário do observado para o porcentual de argila e espessura do horizonte A, os quais exerceram influência positiva.

Por sua vez, Keil (1989) observou que as propriedades físicas do solo que mais influenciam o crescimento de *Araucaria angustifolia* são a porosidade de aeração e macroporosidade, fatores estes que podem, inclusive, limitar o crescimento quando em níveis desfavoráveis. Este estudo foi desenvolvido em um povoamento implantado na região da Lapa, estado do Paraná, em 1969. A autora citada concluiu que os solos Litólicos não são adequados para o cultivo da espécie,

quando comparados com Cambissolos e Podzólicos, que apresentam melhores desempenhos no crescimento das árvores.

Gerhardt et al. (2001) estudaram a influência dos fatores físicos e morfológicos do solo e da quantidade de serapilheira, na classificação de sítios em povoamentos de araucária e concluíram que existem alguns fatores com maior poder de separação de grupos (sítios), quais sejam, a profundidade, os teores de areia, silte e argila e a densidade do solo.

De Hoog (1981) concluiu que as características físicas do solo exercem uma influência significativa no ritmo de crescimento da araucária, onde estão envolvidos os fatores porosidade e intensidade de retenção de água, como indicadores indiretos do desenvolvimento radicular e também como parâmetros reguladores do metabolismo de nutrientes no solo superficial. Para obter essa conclusão esse autor avaliou 260 parcelas temporárias nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul em plantios de *Araucaria angustifolia* com idades variando entre 5 e 46 anos e construiu curvas de sítio monomórficas para os dados de inventário (238 unidades amostrais) e polimórficas para os dados de análise de tronco (52 árvores, de 26 amostras). De todas as amostras investigadas por aquele autor os solos foram avaliados como altamente intemperizados, pobre em nutrientes e com baixos valores de pH (ácidos) e concluiu que fatores físicos são mais importantes do que as propriedades químicas dos solos.

2.4.1.4 Os fatores biológicos do solo

Cassol (1982) identificou que nas camadas F e H do solo ocorre uma abundância de associações com micorrizas, nos 10 cm de solo mineral, as quais assumem grande importância no abastecimento de nutrientes em um povoamento de araucária.

Em seu estudo sobre as micorrizas do ambiente das araucárias Moreira-Souza et al. (2003) demonstraram que a densidade de fungos arbusculares micorrízicos é maior, quase o dobro, em florestas nativas do que em reflorestamentos. A diversidade de espécies de fungos encontrada é também cerca

de duas vezes maior. Segundo os autores a diferença pode ser explicada pelas melhores condições nutricionais da floresta nativa, sobretudo em relação ao N e P disponibilizado às plantas.

Sobre este tema Zandavalli, Dillenburg e Souza (2004) publicaram o primeiro trabalho sobre a relação entre micorrizas e o crescimento da araucária e concluíram que o crescimento foi maior nas plantas inoculadas. Os autores explicam que as plantas colonizadas por fungos de micorriza investem mais na formação da parte aérea do que na parte subterrânea, e que tanto o crescimento apical quanto a expansão lateral são favorecidos, assim como a absorção de nutrientes é aumentada. Por fim recomendam a inoculação de mudas em programas de reposição da araucária em áreas devastadas.

2.4.1.5 O uso anterior do solo

Em relação ao uso anterior do solo De Hoog (1981), em sua avaliação do crescimento da araucária em plantios dentro de sua área de ocorrência natural, afirma que os melhores sítios são aqueles onde anteriormente havia florestas primárias e secundárias, bem como em terras cultivadas. Os sítios de terra agrícola desgastada e abandonada há mais tempo e os campos naturais foram considerados pouco adequados para o cultivo da espécie.

2.4.2 A influência do clima

Há evidências de que o clima exerce influência direta na dinâmica de expansão cambial da *Araucaria angustifolia* (OLIVEIRA, 2007a; OLIVEIRA et al, 2007; SANTAROSA et al, 2007).

Santarosa et al. (2007) concluíram que a sazonalidade cambial da araucária tomada pela observação dos padrões de formação de lenhos inicial e tardio pode ser regulada pela variação anual de temperatura.

De acordo com Oliveira (2007) os fatores climáticos que mais influem no crescimento secundário da araucária representam uma combinação entre a duração do dia e a temperatura, e por consequência a evapotranspiração, uma vez que este

fator é altamente correlacionado com os citados anteriormente. Segundo o autor, a precipitação não é relevante na determinação do crescimento sazonal da espécie.

Por sua vez, Spathelf e Scheeren (1999) concluíram não haver uma variável meteorológica que exercesse influência direta no incremento da espécie. Para chegar a essas conclusões os autores calcularam a evapotranspiração e o balanço hídrico potencial, para melhor descrever as condições hídricas de crescimento das árvores. Foram determinados anéis característicos e calculadas sensibilidades das seqüências de crescimento. Por fim eles relacionaram a variação no incremento radial com a variação das variáveis meteorológicas selecionadas através de análise de correlação, atingindo esses resultados.

2.4.3 A influência do material genético

Segundo Shimizu e Higa (1980) a procedência de sementes pode determinar diferenças significativas na sobrevivência das plantas com 6 anos em cultivo florestal. No entanto, os mesmos pesquisadores indicaram que em relação ao crescimento em altura as procedências apresentaram equivalências, pois diferenças significativas foram observadas somente até os dois anos de idade.

Estudos mais aprofundados em relação ao crescimento da araucária e a qualidade do material genético são inexistentes. Sem dúvida que o melhoramento genético aplicado à araucária poderia gerar bons resultados, vide o que se conseguiu em relação ao eucalipto no Brasil. O problema é quem estaria disposto a investir nisso, considerando o longo prazo para a obtenção de retorno.

2.4.4 A influência da luz

Em condições naturais de regeneração, a araucária, na fase jovem, se comporta como uma espécie pioneira em diversas situações (Klein, 1960), mas, quando adulta, se comporta como secundária longeva, formando o estrato emergente da Floresta Ombrófila Mista (Klein, 1960; Carvalho, 1994).

De acordo com Carvalho (1994) a araucária tolera sombreamento quando jovem, porém não tolera sombreamento lateral quando plantada na capoeira alta e

quando adulta é heliófila.

Segundo Inoue, Galvão e Torres (1979) a araucária tolera níveis moderados de sombra na fase juvenil e quando a espécie é exposta em intensidade luminosas na ordem de 25% da luminosidade plena há uma maior atividade fotossintética, o que indica, aparentemente, melhores ritmos de crescimento.

Santarosa et al. (2007) indicaram que a maior incidência luminosa sobre a araucária, comparando árvores de borda e no interior da floresta, parece adiantar a formação do lenho inicial.

2.4.5 A influência da densidade do povoamento

Outro fator muito importante no desenvolvimento da araucária é o espaçamento, o que tem repercussão direta na densidade do povoamento. Um dos trabalhos mais completos, senão o mais completo, neste sentido foi desenvolvido por Crechi (1996). Neste estudo este autor avaliou um plantio experimental de *A. angustifolia* com densidade variando entre 625 e 4.444 árv/ha, realizado em 1971 na Província de Misiones, na Argentina.

Os resultados obtidos pelo pesquisador revelam que exceto a altura dominante, todas as demais variáveis analisadas sofrem influência direta da densidade. Conclui, portanto, que a densidade da plantação afetou significativamente o crescimento do diâmetro médio aritmético, diâmetro médio quadrático, área transversal média, volume médio e altura média. Para estas variáveis, observou-se uma relação direta com a idade e inversa com a densidade.

O mesmo Crechi (1996) obteve ainda a estimativa das idades a partir das quais a concorrência afetaria significativamente o crescimento das variáveis estudadas, sendo estas idades inversamente proporcionais à densidade, indicando a necessidade de desbastes aos 6 anos, para densidade de 3.333 e 4.444 arv/ha, de 7 anos para 2.000 e 2.500 arv/ha, de 8 anos para 1.600 e 1.666 arv/ha, de 9 anos para 1.333 arv/ha e 11 anos para 1.111 arv/ha.

Em relação ao crescimento da araucária em florestas nativas, Nogueira (1989) demonstrou que é possível promover o crescimento em diâmetro da espécie

pela abertura de espaço no dossel, sobretudo para árvores nas fases tirodendro e ferodendro. Isto, aplicado ao manejo, indica que em florestas nativas devem ser retiradas as araucárias mais velhas e as senis, aumentando o espaço vital necessário para a máxima expressão de crescimento das árvores em franco desenvolvimento. A defesa da aplicação prática deste estudo gerou polêmica nas frentes conservacionistas paranaenses mais radicais. No ano 2000 foi publicado no principal jornal do estado do Paraná o artigo “Professor da UFPR defende o corte das araucárias” (MARTINS, 2000), o que demonstra a celeuma generalizada quanto ao manejo de florestas nativas no sul do país.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

3.1.1 Localização e dimensões da área

As áreas de cultivo florestal em estudo localizam-se dentro dos limites do Parque Ecológico Vivat Floresta e áreas de entorno. Situam-se geograficamente nos municípios de Tijucas do Sul e Agudos do Sul, Paraná (Figura 3), entre 25° 45' e 26° 00' S de latitude e 49° 20' e 49° 05' W de longitude, em uma altitude variando entre 850 e 1.350 m s.n.m., sobre o Primeiro Planalto Paranaense. O principal acesso dá-se pela BR 376 e partindo-se de Curitiba são 70 km até a sede da propriedade, em Tijucas do Sul, com fácil acesso em via asfaltada pela rodovia PR 281.

FIGURA 3 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDOS



A área total da propriedade é de aproximadamente 2.500 hectares e pertence à Aliança Ecológica, uma ação integrativa, entre a Panagro Empreendimentos Florestais Ltda., a Instituição Filantrópica Sergius Erdelyi e a Associação Paranaense de Cultura, entidade mantenedora da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Estas instituições fomentam nesse consórcio de áreas o projeto denominado Vivat Floresta Sistemas Ecológicos (PUCPR; IFSE¹⁴, 2002), onde foram implantados diversos talhões de *Araucaria angustifolia* no âmbito do projeto *Vivat Araucária* (IFSE, 2008).

3.1.2 Clima

O clima regional predominante segundo a escala de Köppen é do tipo

¹⁴ INSTITUIÇÃO FILANTRÓPICA SERGIUS EREDELYI.

Cfb, ou seja, subtropical úmido, mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e freqüentes. A temperatura média dos meses mais quentes fica em torno de 23°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C. No inverno ocorrem fortes geadas, com a mesma freqüência do que no Primeiro Planalto do Estado do Paraná, ou seja, entre 5 e 20 por ano (MAACK, 1968), ou mais em anos atípicos com invernos mais severos.

3.1.3 Vegetação regional

No geral a vegetação original está bastante alterada e são poucos os remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, outrora dominante na paisagem. Grandes serrarias já funcionaram na região, se abastecendo dos estoques nativos de pinho, imbuia e outras madeiras nobres. O pouco que restou ainda é alvo de cobiça e não raro pode-se flagrar árvores nativas de grande porte cortadas, em tese, de forma ilegal.

Os plantios florestais comerciais na região foram iniciados na década de 1970 e hoje ocupam uma área expressiva, distribuída em grandes (> 1000 ha), médias (entre 100 e 1000 ha) e, cada vez mais, pequenas propriedades (< 100 ha). Desde o início deste processo as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* foram as preferidas, embora a área plantada com *Eucalyptus dunnii* venha crescendo nos últimos anos.

Hoje, tanto Tijucas do Sul como Agudos do Sul têm suas economias baseadas na agricultura de pequeno porte, cultivo de tabaco, reflorestamento para venda de toras, lenha e cavacos, piscicultura (*pesque-e-pague*), olericultura, pecuária em menor escala, granjas e, principalmente, por serrarias que trabalham quase que exclusivamente com madeira de Pinus.

O turismo convencional, turismo rural e o ecoturismo são também alternativas que vêm ganhando força nos últimos anos, mas que ainda carecem de planejamento e investimentos ao ponto de poder alavancar o desenvolvimento regional (MELO FILHO; PÉLLICO NETTO; ZANETI, 2008).

Nos poucos remanescentes da floresta original em razoável estado de

conservação a araucária é o elemento botânico de destaque, entre diversas espécies não menos importantes como, por exemplo, a imbuia (*Ocotea porosa* Nees et Martius ex. Nees), o sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer), o cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) (GERALDI; KOEHLER; KAUANO, 2005).

Na região ocorrem ainda formações aluviais típicas, tanto nas faixas de floresta ciliar como nas planícies aluviais ao longo dos cursos dos rios Negro, da Várzea e da Palha. Áreas antrópicas para uso pastoril e agrícola são também significativas e mesmo nas porções mais elevadas do terreno, em altitudes superiores a 1.200 m, a vegetação original foi debelada para dar lugar a pastagens, como na serra do Araçatuba (KOEHLER, 2001).

3.1.4 Solos

Segundo Bologna et al. (2003) predominam na área de estudos os Cambissolos, apresentando grande variação, principalmente no que se refere à sua espessura. Os “típicos” ocorrem nos relevos planos a ondulados (0 a 20% de declives), e até mesmo em grande parte de relevo forte ondulado (20 a 45% de declives). Já os “lépticos” encontram-se em relevo forte ondulado, estes se caracterizam por apresentarem contato com a rocha e/ou horizonte Cr, em profundidades entre 50 e 100 cm. Em relevos com declividades acima de 35% e adentrando na classe montanhosa, são encontrados Cambissolos mais rasos, com espessuras inferiores a 50 cm, normalmente associados a Neossolos Litólicos. Dada a sua pequena espessura e ocorrência em relevos mais movimentados apresentam alta suscetibilidade à erosão, podendo ocorrer fluxos hídricos de subsuperfície, o que condiciona extrema fragilidade ambiental. Por outro lado, nas pequenas planícies fluviais e áreas mais aplainadas, encontram-se os Gleissolos. Estes são encontrados, algumas vezes, associados a Cambissolos gleicos e raras vezes a Organossolos, em relevo praticamente plano. Em ambas as situações, condicionam alta fragilidade ambiental em função dos fluxos hídricos de superfície e os de subsuperfície.

3.2 NATUREZA DOS PLANTIOS

3.2.1 Origem das mudas

Todas as mudas foram produzidas no viveiro florestal da PUCPR, localizado em Tijucas do Sul, Paraná. As sementes foram adquiridas de diversos fornecedores que residem na região que têm por hábito coletar os pinhões todos os anos, para consumo e comercialização, em um raio de aproximadamente 50 km a partir da sede do município.

As sementes chegaram ao viveiro nos meses de maio e junho, quando aumenta a oferta. No geral as sementes são coletadas de árvores isoladas, plantadas ou naturais, visto que são cada vez mais raros os remanescentes florestais nativos com araucárias de grande porte, em toda a região próxima a área de estudos. Em certos casos são árvores que compõe renques nas entradas e divisas das propriedades, isoladas em áreas de roça e na beira de rodovias. Esta, ainda que não esteja de acordo com os critérios de seleção de material genético (DUQUE SILVA; HIGA, 2006), é a realidade produtiva de onde foram obtidas as mudas para o plantio.

A embalagem utilizada foi o saco plástico próprio para mudas, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O substrato utilizado foi um composto de terra preta peneirada, húmus de minhoca e vermiculita na proporção de 8:1:1. Antes da semeadura, nas embalagens, as sementes foram misturadas em um único lote, sendo que apenas uma semente foi colocada em cada embalagem.

3.2.2 Plantio e tratos culturais

Os primeiros plantios promovidos pelo Programa *Vivat Floresta* foram efetuados entre os meses de janeiro e março de 2000 e, ano a ano, novas áreas foram sendo incorporadas (Figura 4). Ao final do ano de 2005, mais de 200 hectares já haviam sido implantados (IFSE, 2008).

Existem diferentes situações de plantio, com talhões puros e consorciados com erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), implantados em áreas utilizadas até

então utilizadas para a agricultura e cultivo de forrageiras, e talhões puros em áreas de cultivo de pinus recém exploradas.

Antes do plantio cada talhão foi roçado em somente uma faixa de 1 m ao longo da linha de plantio e, onde a vegetação matricial superava os 2 m de altura, foi feito o corte da vegetação em toda a área. Feito a roçada, o alinhamento e a abertura das covas, com o enxadão, as mudas foram distribuídas e plantadas.

O espaçamento inicial adotado foi de 2,5 x 4 m para as áreas de plantio puro, ou seja, talhões sem a presença de erva-mate, o que representa uma densidade inicial de 1.000 árvores/hectare. No segundo caso, no sistema de consorciação, o espaçamento de plantio adotado foi 3 x 4 m, o que totaliza 834 árvores/hectare. A Figura 5 ilustra a situação da população em dois talhões fotografados aos cinco anos de idade.

FIGURA 4 - DELIMITAÇÃO DOS PLANTIOS DE ARAUCÁRIA E RESPECTIVAS UNIDADES DE MANEJO, EM TIJUCAS DO SUL-PR.

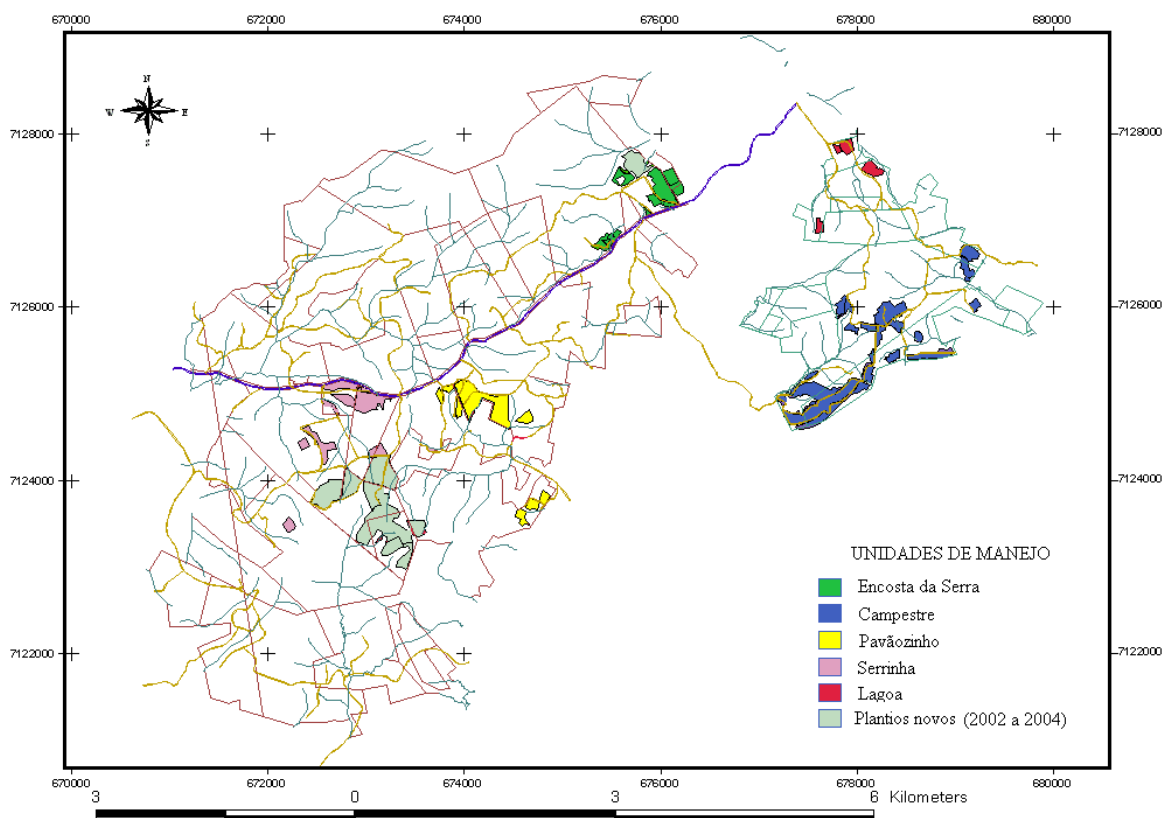


FIGURA 5 – PLANTIO DE ARAUCÁRIA IMPLANTADO E MANTIDO PELO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL, PR, COM 5 ANOS DE IDADE.



Os replantios foram efetuados de forma não sistemática e em tempos distintos, variando entre 2 a 12 meses após o plantio. Em casos excepcionais os replantios foram efetuados mais de uma vez, até dois anos após o plantio.

3.3 CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO E SISTEMA DE AMOSTRAGEM

Com base nos objetivos deste trabalho, sobretudo o de avaliar o crescimento inicial da araucária, optou-se inicialmente por amostrar somente os talhões plantados no ano 2000, que na época da amostragem estariam com 7 anos de idade. Este contingente está distribuído em 3 unidades de manejo, divididos em 8 talhões de área variável que, somados, encerram uma área total de 28,47 hectares (Tabela 2).

TABELA 2 – DESCRIÇÃO GENÉRICA DAS UNIDADES DE MANEJO IMPLANTADAS NO ANO 2000, NAS ÁREAS DO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL-PR

| Unidades de Manejo | Área total (ha) | Talhões | Árvores ₁ | Densidade ₂ |
|--------------------|-----------------|---------|----------------------|------------------------|
| Campestre | 7,47 | 2 | 4.185 | 560 |
| Encosta da Serra | 14,00 | 3 | 4.707 | 336 |
| Lagoa | 7,00 | 3 | 2.962 | 423 |
| Total | 28,47 | 8 | 11.854 | 416 |

(1) O número de árvores foi obtido por meio de um censo amostral, ou contagem de todas as árvores, realizado em 2005 pelos técnicos do programa *Vivat Araucária*, que gentilmente cederam os dados.

(2) Número de árvores por hectare, n/ha.

Os talhões foram agrupados de acordo com a unidade de manejo na qual estão inseridos, o sistema ou modalidade de plantio e o uso anterior do solo. Disto resultou uma subdivisão da população amostrada em cinco diferentes situações de plantio (Tabela 3).

TABELA 3 – ORDENAMENTO DAS AMOSTRAS DE ACORDO COM A LOCALIZAÇÃO, MODALIDADE DE PLANTIO E USO ANTERIOR DO SOLO

| Identificação | Unidade de manejo | Modalidade de plantio | Uso anterior do solo |
|---------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| La/Er/L1 | lagoa | c/ erva-mate | Feijão, Milho |
| La/Er/L2 | lagoa | c/ erva-mate | Forrageiras |
| Ca/Pu/Pi | campestre | puro | Pinus |
| En/Er/L1 | encosta da serra | c/ erva-mate | Feijão, milho |
| En/Pu/L3 | encosta da serra | puro | Fumo |

Em relação ao uso anterior do solo, são quatro situações distintas. Lavoura 1 (L1) refere-se à áreas agrícolas consolidadas cujo cultivo principal eram roças de milho e feijão, Lavoura 2 (L2) corresponde às áreas anteriormente ocupadas por plantas forrageiras para fins pastoris, e Lavoura 3 (L3) trata-se de uma área com condições de solo menos favoráveis, onde se praticou o cultivo de tabaco até cinco anos antes do plantio. Além disso, os talhões da unidade campestre tomaram o lugar de um povoamento de pinus cortado um ano antes do novo plantio, na época com cerca de 20 anos de idade.

Mesmo após o ordenamento prévio das amostras em campo, foram observadas variações internas nos talhões, tanto em termos de crescimento, como nas condições gerais de solos. Por esse motivo qualquer outro método de amostragem que não o inteiramente ao acaso, ou aleatório irrestrito, exigiria um mapeamento detalhado dos solos e das condições do terreno, o que seria impossível à época de amostragem, em função do tempo e dos recursos disponíveis. Dessa forma, a opção de trabalho foi desconsiderar estas variações e distribuir as unidades amostrais de forma aleatória em toda a área.

A definição da forma e tamanho da parcela foi efetuada com base na praticidade das medições, sendo definida que a área de cada parcela seria de 20 x 20 m, o que configura uma unidade amostral quadrada de 400 m².

Em função dos recursos e do tempo disponível, foram distribuídas na área, de forma inteiramente aleatória, 83 unidades amostrais, ou parcelas, sendo 54 nos plantios do ano 2000 e 29 para aqueles implantados no ano 2001. Na primeira série as unidades amostrais foram distribuídas nas cinco diferentes situações de plantio, conforme demonstrado na Tabela 4, o que representa uma intensidade amostral de 1 unidade amostral para cada 0,53 ha.

TABELA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NAS DIFERENTES SITUAÇÕES DE PLANTIO, NOS POVOAMENTOS IMPLANTADOS NO ANO 2000.

| Código | Área total (ha) | Número de parcelas |
|----------|-----------------|--------------------|
| La/Er/L1 | 4,00 | 9 |
| La/Er/L2 | 3,00 | 6 |
| Ca/Pu/Pi | 7,47 | 10 |
| En/Er/L1 | 11,00 | 23 |
| En/Pu/L3 | 3,00 | 6 |
| total | 28,47 | 54 |

Após algumas incursões de campo para avaliação das condições gerais dos talhões o que chamou a atenção foi a variação das alturas, tanto entre como dentro dos talhões. Para confirmar se esta variabilidade estaria também ocorrendo nos plantios efetuados em outros anos, a amostragem foi ampliada para os talhões implantados em 2001. Estes, por sua vez, estão distribuídos em uma área de 66,6 hectares, em 4 unidades de manejo (Tabela 5), que abrigam 36 diferentes talhões.

TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS NAS DIFERENTES SITUAÇÕES DE PLANTIO, NOS POVOAMENTOS IMPLANTADOS NO ANO 2001.

| Localização | Área Total (ha) | Número de parcelas |
|----------------|-----------------|--------------------|
| Campestre | 38,08 | 14 |
| Faz. Sta Clara | 8,06 | 4 |
| Pavãozinho | 6,11 | 2 |
| São João | 14,35 | 9 |
| total | 66,60 | 29 |

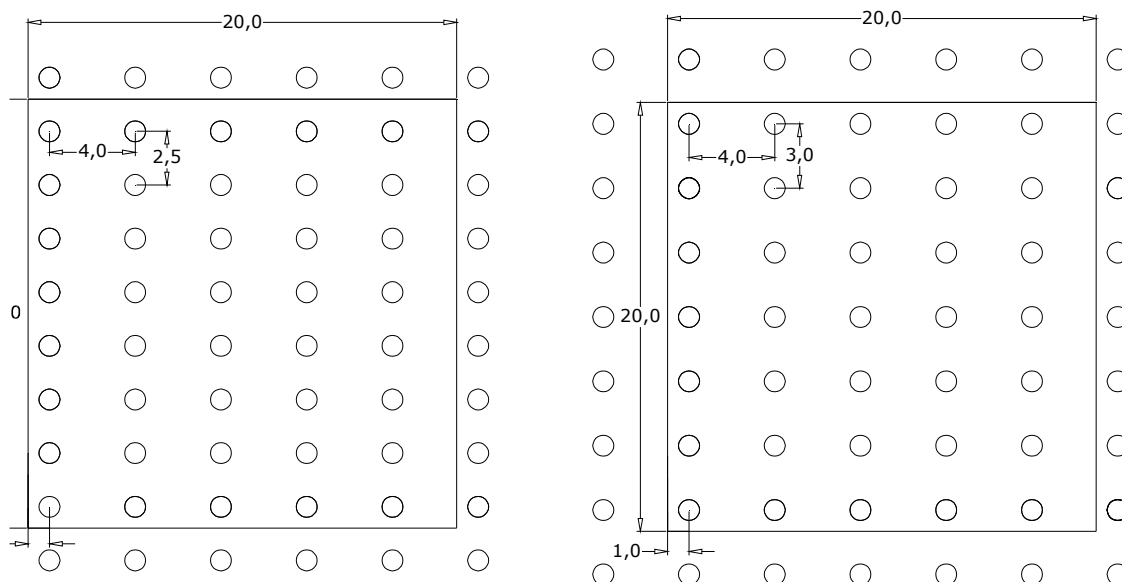
A inclusão dos talhões implantados no ano 2001 para a amostragem se ateve a uma hipótese confirmativa da variabilidade das alturas, não tendo a intenção de gerar uma descrição detalhada de todo este contingente. Por esse motivo foi adotada uma intensidade amostral menor do que aquela aplicada aos plantios do ano 2000, na ordem de uma parcela para cada hectare. Esse componente amostral

complementar foi utilizado para aferição das curvas de sítio, com base na altura dominante das unidades amostrais.

Para apoiar o processo de alocação das unidades amostrais elaborou-se um mapa digital dos talhões, reunindo todas as informações disponibilizadas. Este mapa foi produzido com uso do software GPS TrackMaker[®] o qual serviu como base para o sorteio das unidades amostrais. Com base em um mapa na escala 1:10.000 foram retirados os pontos de referência com as coordenadas UTM e estes dados foram inseridos na memória de um GPS de navegação, para localização e marcação das parcelas em campo.

Após a localização da parcela com apoio do GPS, a primeira etapa consistiu na marcação da linha lateral da unidade amostral, sempre paralela à linha de plantio, com uma trena de 20 m. Esta linha era tomada como base para a demarcação dos limites da parcela, independentemente da densidade de plantio (Figura 6). Conforme exposto anteriormente, a densidade inicial de plantio foi de 1000 árvores/ha para os plantios puros e de 834 árvores/ha nas áreas de consórcio com erva-mate.

FIGURA 6 – CROQUI DAS UNIDADES AMOSTRAIS PARA AS DENSIDADES DE 1000 (ESQ.) E 834 (DIR.) ÁRV. ha⁻¹, NAS ÁREAS DO PROGRAMA VIVAT ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL-PR



Considerando a fase de planejamento da amostragem, as vistorias de campo, a locação e medição das parcelas e os dias de chuva durante o período das medições, foram gastos aproximadamente 3 meses, com início dos trabalhos em Agosto de 2006 e término em meados de Outubro do mesmo ano. Desta maneira, as idades das árvores medidas variavam entre 6,3 e 7,3 anos, decorridos da semeadura no viveiro (Figura 7). Esta computação das frações de idade foi necessária, pois as árvores já haviam retomado o crescimento durante a realização das medições.

FIGURA 7 - ESTADO DE UMA TÍPICA PARCELA DE 6,3 ANOS DE IDADE MENSURADA EM NOVEMBRO DE 2006, EM UM PLANTIO DE ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL-PR.



3.3.1 Variáveis mensuradas

Para a medição das alturas foi utilizado um cano de PVC desmontável, graduado a cada 10 cm. Todas as árvores dentro da parcela tiveram suas alturas medidas e anotadas na ficha de campo, contendo as informações da data, equipe de medição e as coordenadas geográficas da parcela, tanto para os plantios efetuados em 2000 como em 2001.

Para a medição dos diâmetros (DAP) foi utilizada uma suta, com o cuidado de registro de duas medidas por árvore, com diferentes posicionamentos, sendo o segundo em um ângulo de encaixe dos braços do aparelho perpendicular ao primeiro. A média das duas medidas foi computada como o valor do DAP da árvore. Os diâmetros nos talhões implantados em 2001 não foram medidos, pois, em muitos casos, observou-se a predominância de árvores baixas, cujo ponto de medição, a 1,30 m do solo, estaria ainda muito próximo do meristema apical.

Os dados de cada parcela foram tabulados em planilhas independentes e

reagrupados em um arquivo único. Este trabalho foi realizado durante os meses de Novembro e Dezembro de 2006.

3.4 ESTUDO DOS PADRÕES DE CRESCIMENTO

A avaliação do crescimento foi efetuada em duas abordagens, sendo a primeira referente ao povoamento e a segunda com enfoque no crescimento individual. Assim, a coleta de dados foi dividida em duas fases distintas, em função da proposta e dos objetivos desta pesquisa, conforme o detalhamento metodológico que segue.

3.4.1 Avaliação do povoamento

Para comparar o desempenho dos plantios entre talhões foi adotada a classificação das áreas com base na localização do plantio, no uso anterior do solo e na modalidade de plantio. Este ordenamento foi submetido à análise de variância segundo o modelo experimental inteiramente casualizado e posteriormente ao teste de Tukey, considerando como variáveis independentes: altura (ht), DAP, altura dominante (hdom), sobrevivência (sob%) e relação ht/DAP. Tal procedimento foi adotado para comprovar as possíveis diferenças de crescimento entre as unidades de manejo.

Para a avaliação dos padrões de crescimento do povoamento as variáveis diâmetro e altura foram agrupadas em classes de frequência e sua distribuição ajustada. A distribuição de frequência é a apresentação tabular do ordenamento dos dados em intervalos de classe. Para a definição do número de classes foi utilizada a fórmula de Sturges, representada pela equação 1, com base em Machado e Figueiredo Filho (2006). A amplitude das classes foi obtida pela divisão da amplitude total pelo número de classes (n_c).

$$n_c = 1 + 3,3 \log n \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

n_c é o número de classes;

n é o número de observações; e

\log é o logaritmo decimal.

Posteriormente os dados observados foram ajustados com o uso de funções de densidade de probabilidade (f.d.p.), conforme especificado no Quadro 1, com base nos trabalhos de Da Silva (2003) e Weber (2006). As funções, ou modelos, foram validados com base no desempenho no teste de Kolmogorov-Smirnov. Todos os ajustes foram efetuados com o uso de softwares específicos como o TableCurve® e EasyFit5.0®.

QUADRO 1 - FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE TESTADAS PARA AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DE H_T , DAP E H_{DOM}

| Função | Expressão matemática | Parâmetros |
|-------------|---|--|
| Weibull | $f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \exp \left(- \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)$ | α é o parâmetro de forma, β é o parâmetro escala e γ é o parâmetro localização |
| Gama | $f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha - 1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \exp \left(- \frac{x(x - \gamma)}{\beta} \right)$ | α é o parâmetro de forma, β é o parâmetro escala e γ é o parâmetro localização |
| Beta | $f(x) = \frac{1}{b(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x - a)^{\alpha_1 - 1} (b - x)^{\alpha_2 - 1}}{(b - a)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}}$ | α_1 e α_2 são os parâmetros forma e a , b são os parâmetros limites |
| Exponencial | $f(x) = \lambda \exp(-\lambda(x - \gamma))$ | λ é o parâmetro de escala invertido e γ é o parâmetro localização |
| Normal | $f(x) = \frac{\exp \left(- \frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right)}{\sigma \sqrt{2\pi}}$ | σ é o parâmetro escala e μ é o parâmetro localização |

3.4.2 Relação hipsométrica

Para o ajuste da relação hipsométrica foram utilizados os pares de dados de altura e diâmetro tabulados e testados diferentes modelos hipsométricos para seleção daquele fornecedor das melhores estimativas.

Para a seleção prévia dos modelos recorreu-se à literatura florestal, sendo que todos os modelos testados têm apenas o diâmetro como variável independente e a altura total como variável dependente (Quadro 2).

QUADRO 2 – MODELOS MATEMÁTICOS TESTADOS PARA AJUSTE DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

| Modelo | Equação | Fonte | Espécie |
|----------------|---|-----------------------|-------------------------------|
| 1 Petterson | $1/(h - 1,3) = b_0 + b_1/dap + \varepsilon$ | Durlo (1988) | <i>Cabralea canjerana</i> |
| 2 Näslund | $h = (dap^2 / (b_0 + b_1 dap)^2) + 1,3 + \varepsilon$ | | |
| 3 Pollanschutz | $Ln(h - 1,3) = b_0 + b_1/dap + \varepsilon$ | | |
| 4 Parabólico | $h = b_0 + b_1(dap) + b_2(dap^2) + \varepsilon$ | Santos (2006) | <i>Araucaria angustifolia</i> |
| 5 Curtis | $Ln(h) = b_0 + (b_1/dap) + \varepsilon$ | | |
| 6 Stoffels | $Ln(h) = b_0 + b_1.Ln(dap) + \varepsilon$ | | |
| 7 Henricksen | $h = b_0 + b_1 Ln(dap) + \varepsilon$ | Batista et al. (2001) | Várias |
| 8 Gompertz | $h = b_0 \exp[-b_1 \cdot \exp(-b_2 dap)] + \varepsilon$ | | |

Nota: h é a altura total das árvores individuais (m);
 dap é o diâmetro à altura do peito (cm);
 b_0, b_1, b_2 são os coeficientes a serem estimados;
 ε é o erro estatístico com distribuição normal, média zero e variância constante; e
 Ln é o logaritmo natural.

A seleção do melhor modelo foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2), no erro padrão da estimativa (S_{yx}) e na observação dos gráficos de resíduos.

O erro padrão da estimativa (S_{yx}) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e os valores estimados ao longo da linha de regressão, sendo que quanto mais baixo for o valor de ($S_{yx} \%$), melhor será o ajuste. Esses valores foram calculados conforme as equações 2 e 3.

$$S_{yx \text{ recalculado}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

- y_i é a freqüência ($n \cdot ha^{-1}$) observada;
- \hat{y}_i é a freqüência ($n \cdot ha^{-1}$) estimada pelo modelo;
- \bar{y} é a média aritmética dos valores observados;
- n é o número de dados; e

p é o número de parâmetros.

3.4.3 Avaliação do crescimento individual por meio da ANATRO

Para a avaliação do crescimento individual foram selecionadas 32 árvores, as quais foram submetidas à análise de tronco completa – ANATRO. Neste caso todas as amostras foram retiradas somente dos plantios do ano 2000. A definição do número de árvores considerou um número mínimo de três árvores para cada classe de diâmetro.

Para a seleção de quais árvores deveriam ser cortadas fez-se o pré-processamento dos dados obtidos na medição das parcelas para uma avaliação da variabilidade das alturas entre e dentro dos talhões. Calculou-se também a altura dominante, considerando a altura média das quatro árvores mais altas de cada parcela, segundo o conceito de Hart, citado por Scheeren et al. (1999), e após isso foram selecionadas pelo menos duas árvores em cada classe de altura dominante para os ajustes de distribuição.

As árvores foram derrubadas com uma moto-serra pequena, o mais rente possível do nível do solo. Depois do corte foram retirados os discos entre cada pseudo-verticilo, sempre a 6 cm abaixo do ponto de inserção dos galhos. Antes do corte foi pintado no disco um ponto coincidente com o rumo norte de exposição do tronco. Um disco o mais próximo possível da altura de 1,30 m também foi retirado de cada árvore.

As árvores foram cortadas em duas ocasiões, sendo 19 em dezembro de 2006 e mais 11 em julho de 2008. Complementarmente, duas árvores foram cortadas na unidade de manejo Campestre, em agosto de 2008. As árvores foram cortadas em ocasiões diferentes, pois após a análise parcial dos dados, efetuada durante o ano de 2007 na Alemanha¹⁵, diagnosticou-se a necessidade de mais amostras.

Os discos foram transportados para uma área sombreada e ventilada e

¹⁵ Estágio de doutorado, na modalidade de bolsa sanduíche do CNPq, em Freiburg, Alemanha, com duração de 12 meses.

mantidos durante aproximadamente quinze dias (Figura 8), sendo pesados com intervalos de dois dias até atingirem peso constante. As amostras coletadas na primeira ocasião foram embaladas e enviadas pelo correio para o Laboratório do Instituto de Crescimento Florestal da Universidade Albert Ludwigs, na cidade de Freiburg, Alemanha, para posterior medição dos anéis de crescimento. Desde o início da coleta de dados até a postagem do material foram gastos vinte e cinco dias, entre 15 de dezembro de 2006 e 10 de janeiro de 2007.

FIGURA 8 – DISCOS TRANSVERSAIS CORTADOS NA PRIMEIRA OCASIÃO, COLOCADOS PARA SECAGEM A SOMBRA, NO VIVEIRO FLORESTAL DA PUCPR, EM TIJUCAS DO SUL – PR



A segunda fase de corte foi realizada em Julho de 2008, com o corte de mais 13 árvores. O procedimento de corte para retirada das seções transversais diferiu do anterior. Neste caso as árvores foram cortadas e integralmente transportadas ao viveiro, na carreta de um trator. Após a marcação do ponto de corte, os troncos foram traçados e os discos colocados para a secagem à sombra, tal qual descrito anteriormente.

Em março de 2007 foi efetuado o preparo das amostras do primeiro lote

de árvores cortadas. Inicialmente foi feito o lixamento da face superior dos discos, alternando-se a gramatura da lixa da mais grossa até uma mais fina, para obtenção de uma superfície lisa e homogênea.

Para a medição dos anéis de crescimento foi utilizado um aparelho desenvolvido no Instituto de Crescimento Florestal da Universidade Albert Ludwigs, Alemanha. Este aparato desenvolvido pelos técnicos alemães permite a medição dos anéis de crescimento de forma ágil e com precisão de milésimos de centímetro (Figura 9).

FIGURA 9 – APARELHO DE MEDIÇÃO DIGITAL DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, NO LABORATÓRIO DO INSTITUTO DE CRESCIMENTO FLORESTAL DA UNIVERSIDADE ALBERT LÜDWIGS, EM FREIBURG, ALEMANHA



O primeiro passo no processo consistiu na digitalização das amostras com uma lente acoplada à uma base metálica que "fotografa" o disco fixado em uma base móvel. Esta imagem digital do disco é automaticamente transferida para um banco de dados. Com base nesta imagem parte-se para a medição da largura dos anéis, por meio de um software específico denominado WOODSCAN 4.7[®]. Todas as medições foram feitas em 8 direções a partir da medula. Após a finalização das

medições os dados foram transferidos para uma planilha eletrônica do software BR Office Calc[®].

Para a determinação do crescimento anual em altura adotou-se o algoritmo publicado por Kariuki (2002), o qual leva em consideração o crescimento radial como base para estimativa do crescimento em altura por período, diferente de outras metodologias que se baseiam somente na diferença no número de anéis entre as seções transversais do tronco, vide os trabalhos de Carmean (1972), Lenhardt (1972) e Fabbio et al. (1994).

As análises de tronco do segundo lote de árvore cortadas foram feitas no Centro Nacional de Pesquisas Florestais da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, EMBRAPA/Florestas, sediado em Colombo - PR. A medição dos anéis de crescimento foi feita com uso do equipamento LinTab[®] (Figura 10), gentilmente disponibilizado pela pesquisadora Patrícia Povoá de Mattos, responsável pela Xiloteca e Laboratório de Dendrocronologia e Dendroecologia. Este aparelho, bastante ágil e preciso, tem a mesma operacionalidade daquele utilizado na Alemanha, com a diferença de que as medições são feitas, não em uma imagem digitalizada do disco, mas diretamente nesse, visualizado em detalhes com uma lupa acoplada ao instrumento.

FIGURA 10 – ASPECTO GERAL DO LINTAB[®], NA XILOTECA E LABORATÓRIO DE DENDROCRONOLOGIA E DENDROECOLOGIA, NA EMBRAPA, EM COLOMBO, PARANÁ



3.4.4 Classificação de sítios

A classificação de sítios foi realizada com base nos resultados das análises de tronco - ANATRO. Para isso os pares de dados idade/altura foram agrupados representando toda a sequência temporal avaliada, ou seja, da idade 0 até a idade 7. Estes dados foram ajustados pelos modelos de crescimento de Richards e Logística. A escolha do primeiro foi motivada pelo fato de que a grande maioria dos pesquisadores florestais tem adotado esta função em seus trabalhos, conforme detalhado no capítulo da revisão bibliográfica, isto claro, como resultado da eficiência deste modelo para explicar matematicamente o crescimento das árvores. O modelo matemático de Richards pode ser expresso conforme a Equação 4.

$$h_{dom} = b_0 \cdot \left(1 - e^{(-b_1 \cdot I)}\right)^{\frac{1}{1-m}} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde:

- h_{dom} é a altura dominante;
- I é a idade das árvores;
- b_0 , b_1 e m são coeficientes ajustados.

Já a função Logística, além de igualmente representar um bom modelo para ajuste de dados de crescimento, é recomendada para estudos de séries temporais curtas (KARKACH, 2006). Esta função possui uma limitação de ter o ponto de inflexão fixo, à metade da assíntota, ou seja, é menos flexível que o modelo de Richards. A função logística tem a seguinte representação matemática (Equação 5).

$$h_{dom} = \frac{A}{1+b.e^{-c.Id}} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde:

A é o valor assintótico;
b é a taxa de crescimento relativo;
c é a idade no ponto de inflexão; e
Id é a idade da árvore

Após o ajuste da curva de crescimento foi utilizada a técnica da curva guia ou curva média, conforme a metodologia descrita por Ferreira, Guimarães e Scolforo (2006), para geração das curvas de sítio e definição dos limites inferiores e superiores da altura dominante em cada classe, em todas as idades.

3.4.5 Dinâmica de formação dos pseudo-verticilos

Para cumprir este objetivo, foram selecionadas trinta e cinco árvores para as medições biométricas detalhadas da parte aérea. Para a seleção da árvore em campo, recorreu-se a lista das parcelas para sua inserção em classes de altura dominante. Além das trinta e duas árvores selecionadas para a ANATRO, foram medidas mais três árvores.

Após a seleção e localização das árvores no campo, registrou-se o seu posicionamento geográfico, com um GPS de navegação. Posteriormente toda a vegetação herbácea e arbustiva ao redor da projeção da copa da árvore foi cortada com foice e os resíduos foram removidos para facilitar os trabalhos de medição.

Além dos dados biométricos básicos (altura e diâmetro), foram medidos de cada árvore:

- O número e a altura de inserção de todos os pseudo-verticilos;

- Número de galhos vivos em cada pseudo-verticilo; e
- Raio de projeção e orientação de cada galho vivo, em cada pseudo-verticilo.

No caso dos verticilos com galhos mortos ainda presentes e/ou ausentes, demarcou-se a altura das cicatrizes da desrama natural como referência da altura de lançamento do respectivo ramo.

Para o registro do rumo de projeção de cada galho foi adaptado um instrumento rústico, que consiste em um disco de plástico, cortado longitudinalmente em um ponto de seu perímetro, onde 8 ângulos simétricos foram demarcados a mão, com auxílio de uma régua e um transferidor. No campo, colocava-se a peça em volta do tronco orientada de forma a coincidir o norte marcado na peça com o norte da bússola. Depois, esticava-se a trena fazendo coincidir o 0 (zero) com o ponto máximo de projeção do galho e tomava-se a distância até o tronco, além do rumo de projeção, segundo a escala demonstrada na tabela 6.

TABELA 6 – ABRANGÊNCIA ANGULAR DOS RUMOS DE PROJEÇÃO DOS GALHOS MEDIDOS NA FASE DE BIOMETRIA COMPLEMENTAR DAS ÁRVORES

| Rumo de projeção | Ângulos (em graus °) | | |
|------------------|----------------------|---|-----|
| 1 | 0* | a | 45 |
| 2 | 45 | a | 90 |
| 3 | 90 | a | 135 |
| 4 | 135 | a | 180 |
| 5 | 180 | a | 225 |
| 6 | 225 | a | 270 |
| 7 | 270 | a | 315 |
| 8 | 315 | a | 360 |

NOTA: O ângulo 0 (zero) corresponde ao N magnético.

Foi preciso remover os pseudo-verticilos na medida em que os seus galhos fossem sendo medidos. Isto foi necessário para melhorar a visibilidade e mobilidade sob a copa para o correto posicionamento da trena. Todos os galhos foram retirados com uma serra acoplada a um cabo telescópico, até o penúltimo verticilo abaixo do ápice do tronco.

3.4.6 Relações morfométricas

Do conjunto de árvores medidas individualmente foram ainda medidas variáveis morfométricas, com base nos trabalhos publicados por Durlo e Denardi (1998), Tonini e Arco-Verde (2005) e Orellana e Koehler (2008), sendo estas:

- Altura da inserção da copa (*IC*): altura de inserção do primeiro galho vivo da copa (m);
- Comprimento de copa (*C_c*) – Diferença entre a altura total da árvore (m) e a altura de inserção da copa (m);
- Diâmetro de copa (*D_c*)– Duas vezes o valor do raio médio de projeção da copa (m);
- Proporção de copa (*C_c/h*100*) – Relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore, em porcentagem;
- Índice de saliência (*IS*)– Relação entre o diâmetro da copa e o diâmetro a altura do peito;
- Índice de abrangência (*IA*) – Relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore; e
- Formal de copa (*FC*) – Relação entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa.

3.4.7 Estimativa da densidade ideal em função da altura

Para a estimativa da densidade ideal em função da altura foi utilizada a fórmula (Equação 6) proposta por Péllico-Netto (1986):

$$N = \frac{10.000}{0,785398P^2K^2h^2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

- N* é a densidade, expressa em n/ha;
- P* é a porcentagem de copa;
- h* é a altura da árvore; e
- K* é a relação entre o diâmetro de copa e a altura de copa

A diferença da proposta original do autor supracitado é que ao invés do cálculo da densidade baseado em parâmetros médios do povoamento, foi calculada a densidade com base na dimensão de copa de cada árvore submetida à avaliação biométrica complementar. Os resultados foram ordenados para representar a evolução do povoamento por idade, nas diferentes classes de sítio, com base no modelo tendo somente o diâmetro de copa como variável dependente, visto que a simplificação da fórmula anterior resulta na equação 7.

$$N = \frac{10.000}{0,785398 * K^2 * P^2 * h^2} = \frac{10.000}{0,785398 * \frac{dc^2}{l^2} * \frac{l^2}{h^2} * h^2} = \frac{10.000}{0,785398 * dc^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

N é a densidade, expressa em n/ha;
 dc é o diâmetro de copa;
 h é a altura da árvore; e
 l é o comprimento de copa.

Após o cálculo da densidade em função das alturas individuais, foi ajustada uma função flexível como base para o cálculo da densidade ideal nas diferentes idades iniciais e classes de sítios. O modelo escolhido foi a função logística (Equação 8):

$$D = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 * e^{-\beta_2 * ht}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

D é a densidade;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ são os coeficientes de regressão; e

ht é a altura total

3.4.8 Relações entre as variáveis biométricas e morfométricas

A metodologia escolhida para a análise da relação entre as variáveis biométricas e morfométricas foi a análise de correlação linear de Pearson, a partir da matriz bruta de dados.

As variáveis biométricas utilizadas foram DAP, ht , IMA em altura e IMA em diâmetro. Já as variáveis morfométricas utilizadas foram o número de verticilos

(nv), distância média entre os verticilos (dm), comprimento de copa (l), diâmetro de copa (dc), altura de inserção da copa (IC), razão entre comprimento de copa e altura total (l/ht), razão entre diâmetro de copa e DAP (dc/DAP), razão entre diâmetro de copa e altura total (dc/ht), razão entre diâmetro de copa e comprimento de copa (dc/l), e razão entre altura total e DAP (ht/DAP).

Após a análise de correlação a matriz de dados foi submetida à análise fatorial para um esboço de classificação das variáveis de acordo com sua natureza. Os eixos fatoriais originais resultantes foram rotacionados pelo método Varimax, conforme a recomendação metodológica sugerida em Hair (2005).

3.4.9 Seleção e uso de variáveis morfométricas para classificação de sítios

Primeiramente as árvores medidas individualmente foram submetidas à análise de agrupamento pelo método aglomerativo hierárquico. Após a formação de grupos recorreu-se a análise discriminante, pelo método *Stepwise*.

Tal recurso foi utilizado para a seleção, dentro de um conjunto de múltiplas variáveis, daquelas com maior poder de formação e separação dos grupos. Assim, as variáveis selecionadas servem de referência para o enquadramento de novas árvores nos grupos formados, por meio das funções discriminantes geradas.

3.4.10 Correlações entre crescimento e as características dos solos

Esta abordagem teve como principal objetivo contribuir para o que se chama de classificação ecológica de sítios. Esta técnica busca identificar padrões de agrupamento entre diferentes indivíduos ou amostras com base em suas similaridades em relação às condições do ambiente em que se desenvolve a árvore.

A busca de explicações para a variabilidade de crescimento, tomou como ponto de partida, a afirmação de vários autores que a *A. angustifolia* cresce em ritmos satisfatórios se o sítio for adequado, e a aptidão do local de plantio para esta espécie refere-se, principalmente, às características físicas e químicas dos solos, conforme exposto no item 2.5.1.

O efeito da variabilidade genética do lote de mudas não foi considerada,

uma vez que não havia o registro preciso das procedências e progênies utilizadas. A única informação deste quesito disponível é que todas as mudas foram produzidas com sementes coletadas na região e semeadas a partir do mês de Julho de cada ano. Por conta disso, o lote genético foi considerado homogêneo, ainda que haja carência de dados para corroborar a hipótese de homogeneidade genética do plantio.

A metodologia foi concebida com a condição de que as avaliações tivessem um caráter prático, ou seja, que fosse possível de ser aplicada no campo sem a exigência de conhecimentos aprofundados de edafologia e pedologia, ou necessidade de uso de aparelhos e técnicas de custo elevado. Portanto, decidiu-se pela análise química de rotina e prospecção do solo *in situ*.

As amostras de solo para a análise química foram obtidas sob a projeção da copa de cada uma das trinta e cinco árvores selecionadas para a biometria complementar. Foram tomadas quatro sub-amostras de solo na profundidade de 0-40 cm, as quais compuseram uma amostra única. Essas foram encaminhadas para o laboratório de solos do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – CCAA/PUCPR para análise de rotina e análise granulométrica.

Os parâmetros incluídos no laudo de análises químicas e físicas foram os seguintes:

- pH: potencial de hidrogênio, pelo método CaCl_2 ;
- C: teor de carbono na amostra, em g.dm^{-3} ;
- N: teor de N do solo, em g.dm^{-3} ;
- P: teor de fósforo na amostra, em mg.dm^{-3} ;
- K: teor de potássio na amostra, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$;
- Ca: teor de cálcio na amostra, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$;
- Mg: teor de magnésio na amostra, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$;
- Al: teor de alumínio na amostra, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$;
- H+Al: índice pH SMP;
- SB: soma de bases trocáveis;

- T: capacidade de Troca Catiônica (CTC) a pH 7,0;
- V: porcentagem de Saturação de Bases da CTC a pH 7,0;
- m: porcentagem de saturação de alumínio, em %;
- Areia: teor de areia na amostra, em %;
- Silte: teor de silte na amostra, em %; e
- Argila: teor de argila na amostra, em %.

As determinações seguiram o procedimento padrão do laboratório, sendo a determinação do C pelo método Walkley e Black, P e K pela metodologia Mehlich e Ca, Mg e Al por meio do KCl. Para as análises granulométricas foi utilizado o método da Pipeta.

Além disto, em campo, foi determinada a seqüência e profundidade dos horizontes A e B do solo, até a profundidade de 1 m, por meio de prospecção com o trado holandês. Este procedimento foi realizado no mês de dezembro de 2006. Para tal, após a retirada das amostras, de 20 em 20 cm, estas eram emparelhadas e anotadas a profundidades de cada perfil correspondente. A Figura 11 refere-se a uma destas amostras.

FIGURA11 – AMOSTRAS DE SOLO RETIRADA ATÉ A PROFUNDIDADE DE 1 M COM O TRADO HOLANDÊS, EMPARELHADAS PARA A MEDIÇÃO DA ESPESSURA DOS HORIZONTES



Os resultados obtidos foram compilados e agrupados em uma matriz única, contendo o código de identificação da amostra e as respectivas variáveis. Os dados de profundidade dos horizontes foram igualmente emparelhados na mesma matriz. Com base nesta matriz foram aplicadas algumas técnicas estatísticas, em especial a análises de correlação de Pearson.

Os dados da análise química, física e de profundidade dos solos foram correlacionados com as variáveis de crescimento em cada ponto de coleta. Para a entrada de dados na rotina computacional de análises foi gerada uma matriz de dados única. Nesse caso foi considerado o incremento médio anual em altura e em diâmetro, além do incremento corrente anual das três últimas estações de crescimento. Foram considerados os níveis de significância de 5 e 1% como indicadores da correlação entre as variáveis.

3.5 FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE DOS DADOS

A tabulação, o armazenamento e processamento dos dados de inventário foram efetuados com o software Excel for Windows® e BrOfficeCalc®, em planilhas eletrônicas desenhadas para esta finalidade. As análises de tronco completas - ANATRO - foram feitas nas mesmas plataformas e complementarmente com o versão demonstrativa do software FlorExcel®, gentilmente cedido pelo Prof. Júlio Eduardo Arce, do Curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná. Outros softwares utilizados para as análises estatísticas foram o SPSS® e Minitab® e, para a modelagem gráfica da ANATRO, o software AUTOCAD®, todos em plataforma Windows ®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DO POVOAMENTO

Foram evidenciadas diferenças significativas em relação ao diâmetro a altura do peito \overline{DAP} , altura média \bar{h} , sobrevivência em %, relação entre altura e diâmetro h/d e altura dominante $hdom$ nas diferentes situações de plantio (Tabela 7). Estas diferenças residem nas variações de local, modalidade de plantio e uso anterior do solo.

TABELA 7 – ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA O ORDENAMENTO DAS PARCELAS DE ACORDO COM O LOCAL DE PLANTIO

| | Soma do Quadrados | GL | Quadrado Médio | F | Sig | |
|------|-------------------|-----------|----------------|----------|--------|---------|
| sob | Tratamento | 7702,431 | 4 | 1925,608 | 5,829 | 0,001** |
| | Resíduo | 16187,315 | 49 | 330,353 | | |
| dap | | 151,165 | 4 | 37,791 | 10,771 | 0,000** |
| | | 171,917 | 49 | 3,509 | | |
| ht | | 40,818 | 4 | 10,205 | 8,509 | 0,000** |
| | | 58,764 | 49 | 1,199 | | |
| hdom | | 56,164 | 4 | 14,041 | 10,489 | 0,000** |
| | | 65,596 | 49 | 1,339 | | |
| h/d | | 0,793 | 4 | 0,198 | 25,652 | 0,000** |
| | | 0,379 | 49 | 0,008 | | |

**Significativo ao nível de $p < 0,01$.

Não foi possível fazer a análise do peso de cada fator na variabilidade dos dados, pois nem todas as situações ocorrem em todos os locais de plantio. Se assim o fosse dever-se-ia ter 24 combinações de fatores (3 locais x 2 modalidades x 4 usos anteriores do solo) e não apenas 5. Nessa situação hipotética seria possível realizar a análise de variância segundo o modelo fatorial.

Pelo que se observa na Tabela 8, os piores crescimentos em altura dominante foram registrados nos talhões agrupados nos códigos En/Pu/L3 e Ca/Pu/Pi, plantados puros em áreas utilizadas antigamente para o cultivo do tabaco e cultivo de pinus, respectivamente. Crescimentos intermediários foram observados nos talhões consorciados com erva-mate, En/Er/L1 e La/Er/L2, em áreas que abrigavam roças de milho e feijão, e cultivo de forrageiras para pastagem,

respectivamente. Já o melhor crescimento foi observado nos talhões classificados como La/Er/L1, os quais foram implantados em solos bons, planos ou suavemente ondulados, profundos em sua maioria e consorciados com a erva-mate.

Quanto à sobrevivência a variação não segue o mesmo sentido do crescimento em altura dominante, e parece que este fator está mais relacionado com os tratamentos culturais e intensidade de replantio do que com a qualidade do sítio em si.

O mesmo ocorre com o quociente h/d que segue a ordem inversa das variáveis diâmetro e altura. Parece claro admitir, neste caso, que quanto melhor o sítio menor será o valor deste quociente, ou seja, a proporcionalidade entre o crescimento em altura e diâmetro é maior. A análise da relação hipsométrica contém mais detalhes sobre esta questão (item 4.2.4).

TABELA 8 – VALORES DO DIÂMETRO MÉDIO, ALTURA MÉDIA, SOBREVIVÊNCIA, RAZÃO ALTURA/DIÂMETRO E ALTURA DOMINANTE DE *A. angustifolia* NAS PARCELAS MENSURADAS DIVIDIDAS DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES DO PLANTIO

| Identificação | \overline{DAP} (m) | \bar{h} (m) | Sob% | h/d | H_{dom} (m) |
|---------------|----------------------|---------------|----------|---------|---------------|
| En/Pu/L3 | 2,64 a | 2,06 a | 77,08 ab | 0,96 b | 3,35 a |
| Ca/Pu/Pi | 3,21 a | 2,68 ab | 83,50 b | 0,96 b | 4,00 ab |
| La/Er/L2 | 4,77 ab | 3,23 abc | 62,00 ab | 0,85 ab | 4,97 b |
| En/Er/L1 | 6,59 b | 4,13 bc | 55,35 a | 0,68 a | 5,25 bc |
| La/Er/L1 | 6,97 b | 4,69 c | 78,11 ab | 0,78 ab | 6,77 c |

Nota: Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível $p < 0,05$. Como o tamanho dos grupos não é homogêneo, a média ponderada foi utilizada no cálculo.

Quanto à variabilidade dentro de cada situação de plantio percebe-se que os blocos mais homogêneos em altura dominante são aqueles identificados pelo código Ca/Pu/Pi, referindo-se aos talhões inseridos na unidade de manejo denominada campestre (Tabela 9). Nas demais áreas o coeficiente de variação calculado acima de 20% mostra que o sistema de ordenamento deveria incluir mais um critério, como um parâmetro relacionado ao solo por exemplo, pois dentro dos blocos definidos como homogêneos observa-se diferentes comportamentos de crescimento.

TABELA 9 – VALORES DE ALTURA DOMINANTE (H_{dom}) MÁXIMOS, MÍNIMOS, MÉDIOS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE ACORDO COM A SITUAÇÃO DE PLANTIO

| Código | máximo | mínimo | média | CV% |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| La/Er/L1 | 8,85 | 3,71 | 6,77 | 25,07 |
| La/Er/L2 | 7,00 | 3,71 | 4,97 | 24,12 |
| Ca/Pu/Pi | 5,28 | 3,14 | 4,00 | 14,17 |
| En/Er/L1 | 7,55 | 3,18 | 5,25 | 22,19 |
| En/Pu/L3 | 4,79 | 2,81 | 3,35 | 21,58 |

4.1.1 Distribuição dos diâmetros

Nenhuma das funções testadas obteve um desempenho que indicasse uma boa aderência aos dados, pois o teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que o valor crítico é inferior aos valores de D , para todos os ajustes (Tabela 10). Este resultado inviabilizou a escolha do melhor modelo para todo o conjunto de dados. Para contornar este problema os dados foram agrupados de acordo com o sítio natural com o maior número de árvores medidas, nesse caso o sítio En/Er/L1.

TABELA 10 – RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA TODO O CONJUNTO DE DADOS DE DAP, OBTIDOS EM UM POVOAMENTO COM 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR

| Função | D ($V. \text{ crítico} = 0,03756, \alpha = 0,05, n = 1307$) |
|-------------|---|
| Weibull | 0,14343** |
| Gama | 0,09793* |
| Beta | 0,34961** |
| Exponencial | 0,16404** |
| Normal | 0,11043* |

Para o conjunto de dados reduzido às árvores medidas no sítio natural En/Er/L1 o melhor ajuste foi obtido pelo modelo Normal. Este desempenho foi repetidamente melhor para todos os outros sítios naturais e apenas no caso do sítio natural En/Pu/L3 essa função não mostrou boa aderência aos dados (Tabela 11).

TABELA 11 – RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO NORMAL PARA A DISTRIBUIÇÃO DO DAP NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR

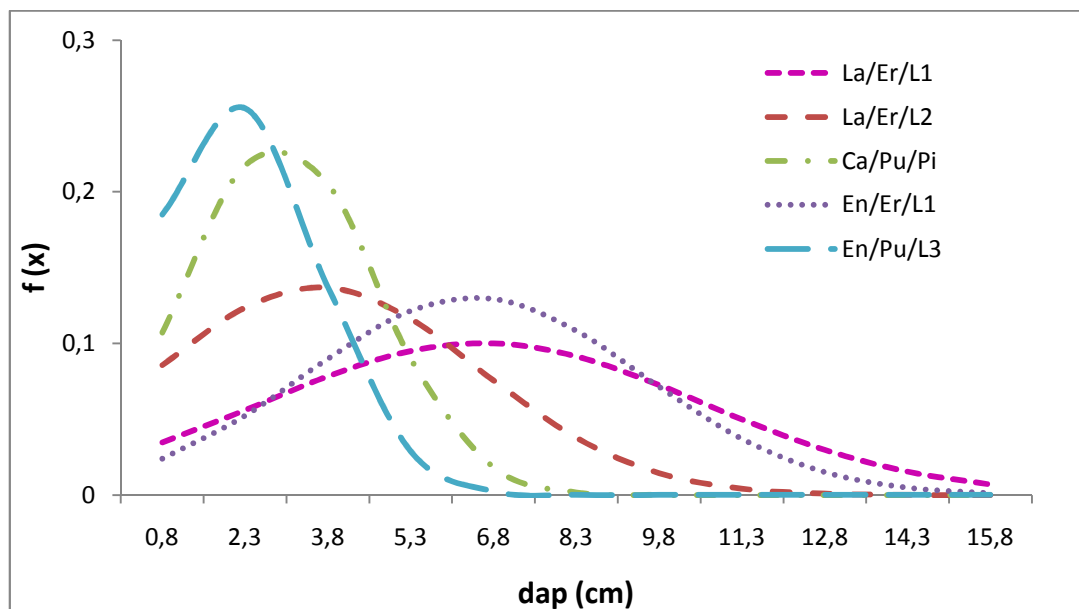
| Sítio | φ | μ | V. crítico | D |
|------------------|-----------|--------|------------|----------------------|
| La/Er/L1 (n=235) | 3,9849 | 6,5979 | 0,1063 | 0,0776 ^{ns} |
| La/Er/L2 (n=126) | 2,9114 | 3,6239 | 0,1451 | 0,1164 ^{ns} |
| Ca/Pu/Pi (n=334) | 1,7141 | 2,9356 | 0,0891 | 0,0817 ^{ns} |
| En/Er/L1 (n=427) | 3,0661 | 6,4403 | 0,0788 | 0,0606 ^{ns} |
| En/Pu/L3 (n=185) | 1,5464 | 2,0622 | 0,1198 | 0,1358 ^{**} |

Nota: ^{ns} diferença não significativa ao nível de 0,01 e ^{**} diferença significativa ao nível de 0,01

φ , μ – coeficientes de ajuste da função

O ajuste dos dados revelou a existência de tendências distintas para cada um dos sítios naturais. A inclinação e os pontos de culminação de frequência são diferentes para cada situação, conforme pode-se observar na Figura 12.

FIGURA 12– TENDÊNCIAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS PARA OS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADOS



Da análise da Figura 12 pode-se extrair que quanto mais a direita estiver a moda de distribuição do DAP melhor é o sítio. Com base nesse critério conclui-se que os sítios naturais de melhor desempenho no crescimento em diâmetro são La/Er/L1 e En/Er/L1. Em seguida vem o sítio La/Er/L2, restando, como de piores desempenhos, os sítios Ca/Pu/Pi e En/Pu/L3. Este ordenamento corrobora com aquele obtido por meio da análise de Tukey com as alturas dominantes, exposto na Tabela 7.

4.1.2 Distribuição das Alturas

O melhor ajuste da distribuição da alturas foi obtido pela função Weibull, seguida das funções Beta e Gama, respectivamente. Tanto a função Exponencial quanto a Normal não mostraram boa aderência aos dados (Tabela 12).

TABELA 12 – RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA TODO O CONJUNTO DE DADOS DE HT, OBTIDOS EM UM POVOAMENTO COM 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR

| Função | D (V. crítico = 0,03756, a 0,05, n=1307) |
|-------------|--|
| Weibull | 0,0274 ^{ns} |
| Gama | 0,0328 ^{ns} |
| Beta | 0,0288 ^{ns} |
| Exponencial | 0,1956* |
| Normal | 0,0834* |

Nota: ^{ns} diferença não significativa de 0,01 e * diferença significativa ao nível de 0,05

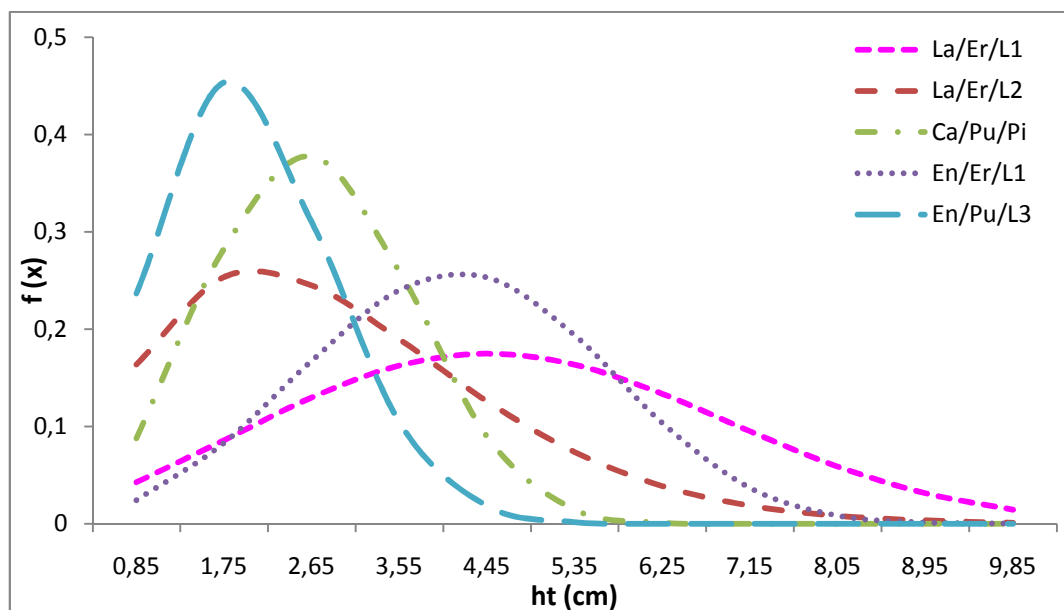
O ajuste dos dados de distribuição das alturas em cada um dos sítios naturais e os resultados mostram que é possível esboçar a qualidade do sítio, de maneira que quanto maior o valor de β melhor qualificado é o sítio (Tabela 13). Nota-se, na Figura 13, que as tendências de distribuição das alturas são muito similares àquelas observadas com os diâmetros, resultando na mesma ordenação de acordo com o desempenho de crescimento.

TABELA 13 – RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO WEIBULL PARA A DISTRIBUIÇÃO DA HT NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR

| Sítio | α | β | γ | V crítico | D |
|------------------|----------|---------|----------|-----------|-----------------------|
| La/Er/L1 (n=235) | 2,7234 | 6,1898 | -0,77142 | 0,10626 | 0,08177 ^{ns} |
| La/Er/L2 (n=126) | 1,6782 | 3,0013 | 0,31869 | 0,14512 | 0,06797 ^{ns} |
| Ca/Pu/Pi (n=334) | 2,8694 | 2,9918 | 0,00610 | 0,08913 | 0,04027 ^{ns} |
| En/Er/L1 (n=427) | 3,3655 | 5,0552 | -0,39510 | 0,07883 | 0,03103 ^{ns} |
| En/Pu/L3 (n=185) | 2,1645 | 1,9950 | 0,27829 | 0,11977 | 0,06796 ^{ns} |

Nota: ^{ns} diferença não significativa ao nível de 0,01

FIGURA 13 – TENDÊNCIAS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS PARA OS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADOS



Segundo Burger (1980) as curvas de frequência das alturas num povoamento puro equiâneo são semelhantes a uma distribuição normal, porém, em geral, o lado direito é mais curto do que o lado esquerdo, o contrário daquilo observado para o povoamento em análise, ainda que se esteja trabalhando com a fase inicial de crescimento. Possivelmente serão observadas mudanças neste sentido na medida em que avança a idade do povoamento.

4.1.3 Relação Hipsométrica

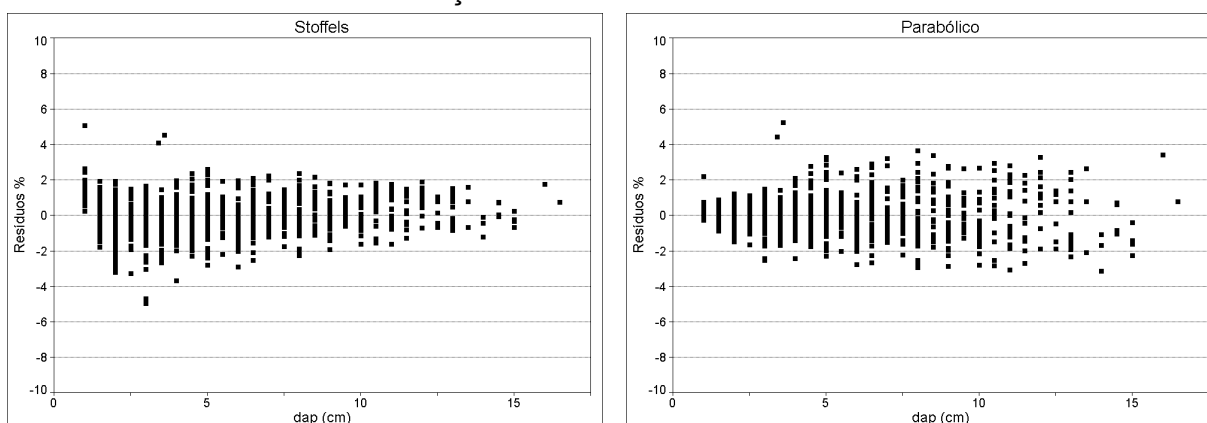
O teste dos modelos hipsométricos evidenciou diferentes performances em relação ao ajuste. Considerando os valores de R^2 há uma equivalência entre alguns modelos, sendo pareados neste caso os modelos de Näslund, Parabólico, Stoffels e Gompertz. Contudo se avaliado o $Syx\%$, o melhor ajuste dos dados deu-se pelo modelo de Stoffels (Tabela 14).

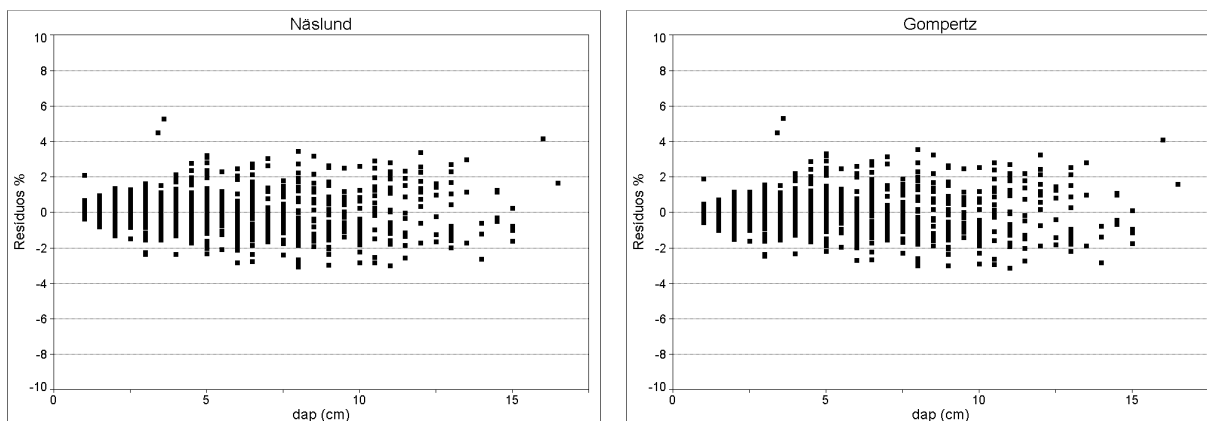
TABELA 14 – COEFICIENTES DE AJUSTE DA RELAÇÃO HIPSSOMÉTRICA COM OS MODELOS TESTADOS PARA 1307 PARES DE DADOS DE ALTURA E DIÂMETRO DE ARAUCÁRIAS COM 7,3 ANOS DE IDADE

| Modelo | Modelo ajustado | R^2 | Syx% |
|------------|--|-------|------|
| Petterson | $1/(h - 1,3) = -0,840337 + 6,482964/dap$ | 0,425 | 46,5 |
| Näslund | $h = (dap^2 / (1,889965 + 0,263842 \cdot dap)^2) + 1,3$ | 0,913 | 14,1 |
| Parabólico | $h = 0,878108 + 0,606478 (dap) + -0,00796 (dap^2)$ | 0,915 | 14,0 |
| Curtis | $Ln(h) = 1,757559 + (-1,849745/dap)$ | 0,746 | 6,5 |
| Stoffels | $Ln(h) = 0,265229 + 0,657275 \cdot Ln(dap)$ | 0,914 | 3,9 |
| Henricksen | $h = 0,341437 + 2,336602 \cdot Ln(dap)$ | 0,842 | 24,3 |
| Gompertz | $h = 9,913530 \exp[-2,107586 \cdot \exp(-0,154293 \cdot dap)]$ | 0,914 | 14,1 |

Para confirmar a escolha do modelo mais adequado aos dados observados recorreu-se a análise dos gráficos dos resíduos, onde as diferenças entre as funções testadas ficam mais explícitas. Neste caso o modelo de Stoffels foi superior, em função da distribuição mais homogênea dos pontos residuais. Esta comparação pode ser visualizada na Figura 14, sendo que cabe a menção de que o modelo escolhido tende a *errar* mais nas estimativas nas classes inferiores e nas classes de *dap* subsequentes a nuvem de pontos residuais das estimativas tende a se aproximar do valor observado.

FIGURA 14 – COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DAS ALTURAS EM FUNÇÃO DO DAP





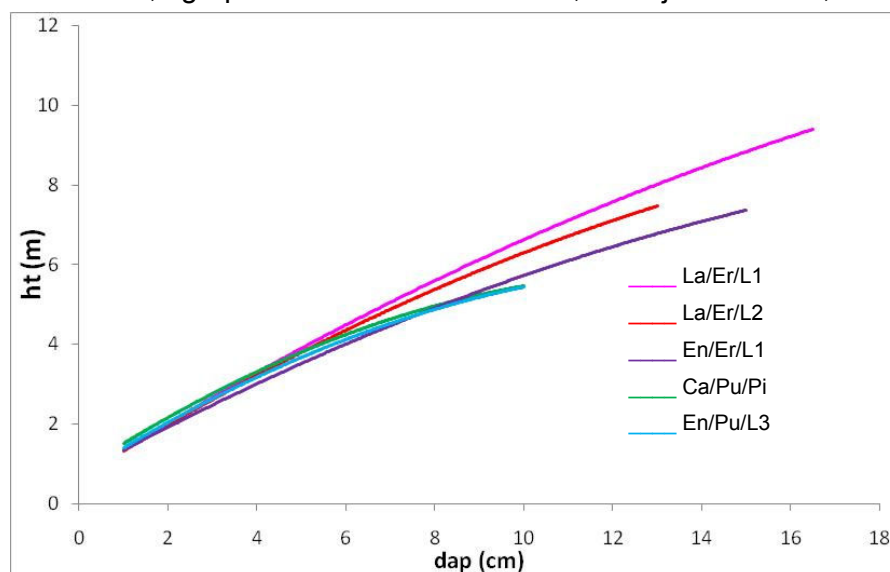
O ajuste do modelo selecionado separadamente para cada sítio natural mostrou que existem variações nas tendências hipsométricas (Tabela 15). Se por um lado não há uma lógica para classificação do melhor desempenho de crescimento em função dos coeficientes ajustados, por outro se comprova a necessidade de ajustes independentes para cada um dos sítios naturais quando se deseja aumentar a precisão dos modelos preditivos da altura. A Figura 15 reforça esta conclusão, pois aí se observam diferentes inclinações nas curvas de ajuste hipsométrico para os 5 sítios naturais considerados.

TABELA 15 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE REGRESSÃO PARA O MODELO HIPSOMÉTRICO DE STOFFELS NOS CINCO SÍTIOS NATURAIS AVALIADO

| Sítio natural | β_0 | β_1 | R^2 | $S_{yx}\%$ |
|---------------|-----------|-----------|--------|------------|
| La/Er/L1 | 0,177301 | 0,742212 | 0,9453 | 10,68 |
| La/Er/L2 | 0,185061 | 0,716001 | 0,9592 | 8,00 |
| Ca/Pu/Pi | 0,363683 | 0,599638 | 0,8903 | 10,06 |
| En/Er/L1 | 0,16836 | 0,682413 | 0,9040 | 11,54 |
| En/Pu/L3 | 0,285706 | 0,626084 | 0,8590 | 13,02 |

Nota: $\ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(dap)$

FIGURA 15 – Curvas das tendências hipsométricas para todas as araucárias jovens medidas, agrupadas nos 5 sítios naturais, em Tijucas do Sul, PR



Nota: modelo utilizado Stoffels; $\text{Ln}(ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Ln}(dap)$

4.1.4 Distribuição das alturas dominantes

Das cinco funções testadas para o ajuste da frequência de distribuição das alturas dominantes das cinquenta e quatro parcelas de inventário apenas uma não se mostrou aderente aos dados, sendo esta a função exponencial (Tabela 16).

TABELA 16 - RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS ALTURAS DOMINANTES

| Função | D (V crítico 0,18144, α 0,05, n=54) |
|-------------|--|
| Weibull | 0,06818 ^{ns} |
| Gama | 0,07948 ^{ns} |
| Beta | 0,12281 ^{ns} |
| Exponencial | 0,42842* |
| Normal | 0,11783 ^{ns} |

Nota: ^{ns} diferença não significativa ao nível de 0,01

Com base no menor valor de D, a função de Weibull foi utilizada para construir o gráfico da distribuição estimada de frequências em função das alturas dominantes, com os parâmetros ajustados e demonstrados na Tabela 17. Não se fez o ajuste para cada sítio, pois neste caso considera-se a amostra como unidade amostral e em alguns casos o valor de “n” ficaria muito baixo para ajuste de

distribuição.

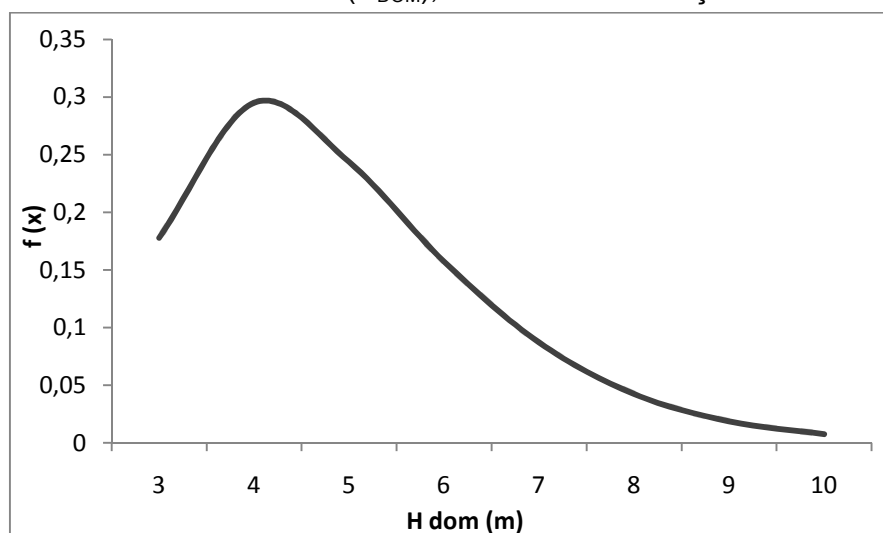
TABELA 17 – RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO WEIBULL PARA A DISTRIBUIÇÃO DA h_{dom} NOS 5 SÍTIOS NATURAIS DE UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR.

| Amostras | α | β | γ | V crítico (0,05) | D |
|----------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------|
| Todas | 1,5167 | 2,5324 | 2,7435 | 0,18144 | 0,06818 ^{ns} |

Nota: ns diferença não significativa de 0,01

Um fato já percebido durante a amostragem foi confirmado após a construção do gráfico (Figura 16), onde observa-se o predomínio na área de sítios de fraco desempenho, visto a alta probabilidade de ocorrência de amostras nas classes inferiores de altura dominante (Figura 16).

FIGURA 16 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE (H_{DOM}), SEGUNDO A FUNÇÃO DE WEIBULL



A partir deste momento a análise da qualidade de sítio seguiu para abordagem do crescimento individual como parâmetro de separação dos sítios e estes resultados são demonstrados adiante.

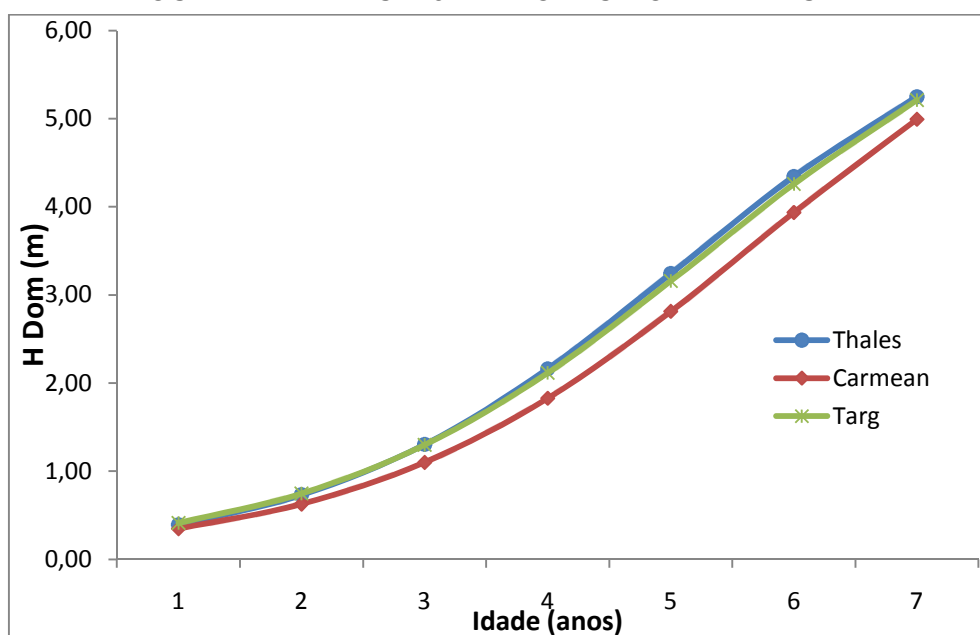
4.2 CRESCIMENTO INDIVIDUAL

A aplicação da análise de tronco completa - ANATRO - mostrou ser uma metodologia bastante eficaz para a avaliação retrospectiva do crescimento individual em altura. A única ressalva do método reside no fato da necessidade de se estimar o

término do anel no perfil longitudinal do tronco. Para os dados analisados foram observadas diferenças entre os algoritmos, nas várias idades avaliadas.

Após a aplicação dos algoritmos de Carmean (NEWBERRY, 1991; DYER; BAILEY, 1987, FABBIO; FRATTEGANI, MANETTI, 1994), TARG (KARIUKI, 2002) e método do teorema de Thales, disponível no software Florexcel[®], e posterior ajuste dos dados pelo modelo logístico, denotou-se que as curvas de crescimento para cada situação mostram pequenas discrepâncias (Figura 17).

FIGURA 17 – CURVAS MÉDIAS DE CRESCIMENTO ATÉ A IDADE DE 7 ANOS, COM DADOS REFERENTES A 32 ÁRVORES DOMINANTES

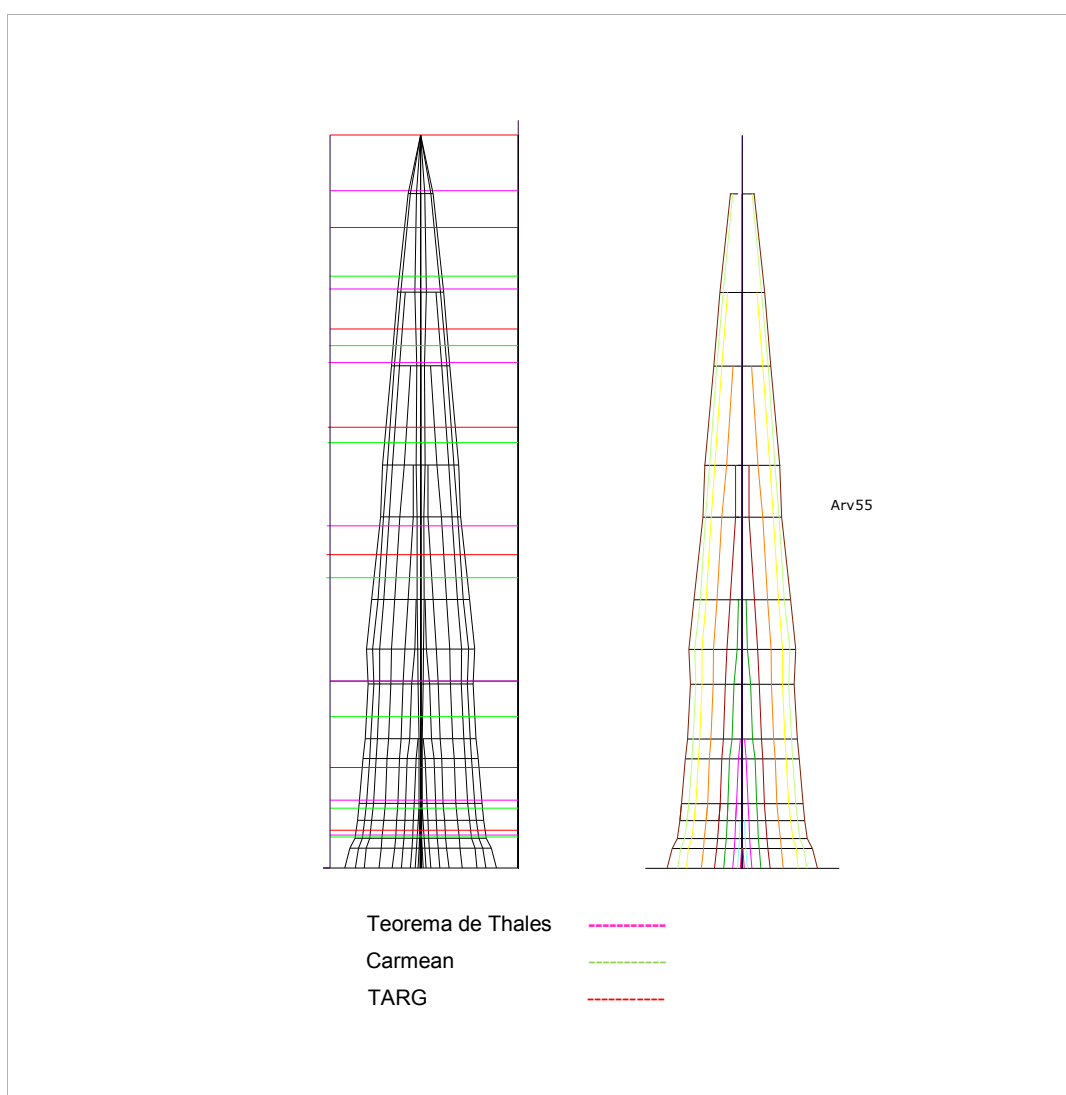


No caso anteriormente exposto percebe-se que as estimativas geradas pelos algoritmos TARG e Teorema de Thales são praticamente iguais, exceto que o primeiro apresenta valores ligeiramente inferiores. Por sua vez o algoritmo de Carmean mostra uma tendência de subestimativa em relação aos demais, em todas as idades.

Para auxiliar o teste de aplicabilidade dos modelos foi desenvolvida uma metodologia específica. O primeiro passo foi a representação gráfica do perfil de tronco, por meio do software AUTOCAD[®] 2006, com base nas alturas das fatias de

tronco e largura dos anéis de crescimento. Com base neste desenho foram plotadas as alturas estimadas pelos diferentes métodos (Figura 18). Como a altura dos discos era conhecida, o valor da estimativa deveria estar entre as alturas da base e do ápice da seção de tronco, pois na fatia superior havia um anel a menos do que na fatia inferior. Do contrário o algoritmo era invalidado. Ao fim optou-se pelo método TARG como o mais apropriado para os dados em questão.

FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PERFIL DE TRONCO DE UMA *A. angustifolia* E RESPECTIVOS LIMITES DO CRESCIMENTO ANUAL EM ALTURA DE ACORDO COM OS MÉTODOS TARG, CARMEAN E PELO TEOREMA DE THALES.



As estimativas das alturas atingidas em cada idade, segundo a metodologia de TARG, são apresentados na Tabela 18.

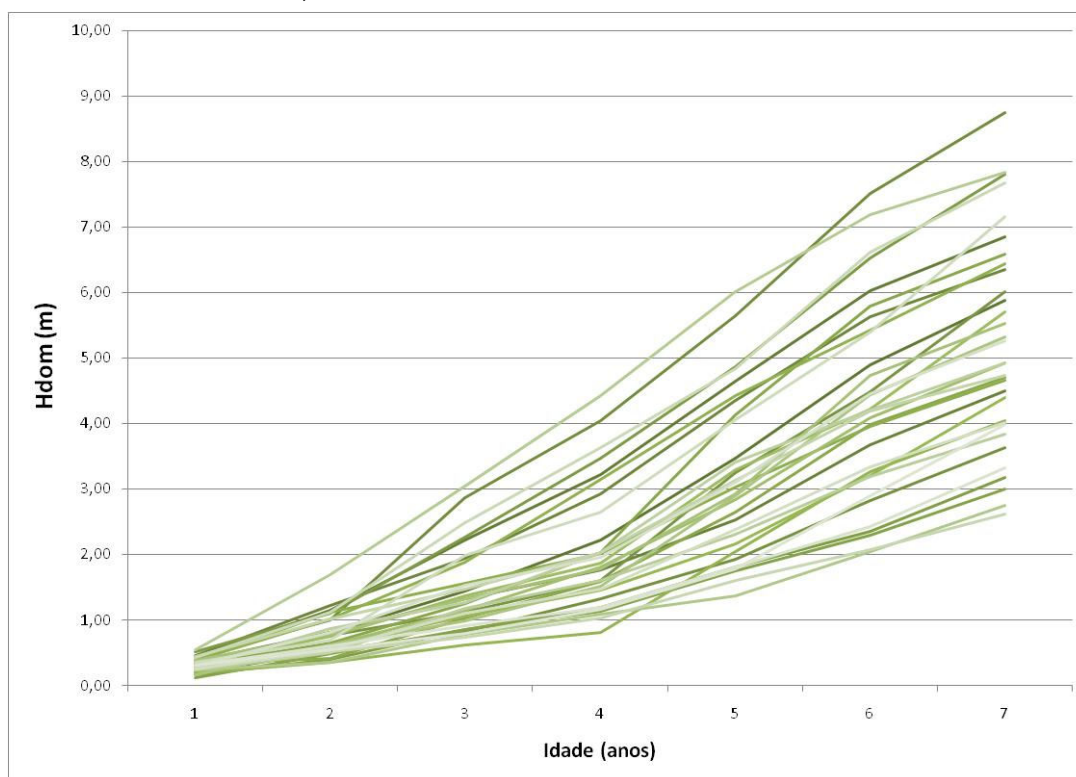
TABELA 18 – DESCRIÇÃO NUMÉRICA DO CRESCIMENTO DA ALTURA DOMINANTE (m) DAS 32 ÁRVORES SUBMETIDAS À ANATRO

| Idades | Média (m) | Mínimo (m) | Máximo (m) | s | CV (%) |
|--------|-----------|------------|------------|------|--------|
| 1 | 0,33 | 0,19 | 0,55 | 0,09 | 27,59 |
| 2 | 0,77 | 0,35 | 1,69 | 0,30 | 39,63 |
| 3 | 1,42 | 0,62 | 3,04 | 0,62 | 44,10 |
| 4 | 2,07 | 1,03 | 4,43 | 0,90 | 43,57 |
| 5 | 3,14 | 1,38 | 6,01 | 1,22 | 38,92 |
| 6 | 4,29 | 2,05 | 7,51 | 1,50 | 34,91 |
| 7 | 5,20 | 2,62 | 8,75 | 1,62 | 31,08 |

Da tabela acima se extrai a informação que o coeficiente de variação é menor na idade 1, cresce até a idade 3 e volta a decrescer até a idade 7. A explicação para isto está diretamente relacionada com as condições de desenvolvimento da espécie e as condições do local de plantio. Nos primeiros seis meses, as mudas cresceram em condições homogêneas no ambiente de viveiro. Após o plantio cada qual tem sua adaptação condicionada a concorrência da vegetação matricial e solo disponível. A qualidade do local de plantio e dos tratamentos culturais é que determina o ritmo de crescimento das árvores.

Na primeira abordagem comparativa do crescimento individual percebe-se que existem diferentes comportamentos. A Figura 19 revela haver uma grande amplitude das alturas dominantes aos sete anos, variando entre 2,6 a 8,7 m. Observa-se também, grosso modo, dois padrões de crescimento, sendo o primeiro caracterizado pela aceleração do ritmo a partir do terceiro ano e outro, onde o incremento em altura aumenta a partir do quarto ano de idade. Essa diferença parece demarcar árvores de melhor e pior crescimento e, embora ocorram exceções, nos melhores sítios a reação de crescimento mais acelerado ocorre mais cedo. Se essas reações estão relacionadas com tratamentos culturais fica difícil dizer, uma vez que não se tem um controle rigoroso sobre o histórico destas operações no povoamento.

FIGURA 19 - GRÁFICO DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA TODAS AS ÁRVORES INCLUÍDAS NA ANÁLISE DE TRONCO, EM POVOAMENTOS DE ARAUCÁRIA, EM TIJUCAS DO SUL – PR



A Figura 19 mostra também que não há um paralelismo relativo entre as curvas, indicando que os incrementos anuais são maiores em um ano e menores em outro, dependendo da árvore, em resposta às condições de crescimento deste indivíduo. Isto pode ocasionar mudanças da classe de sítio que a árvore pertence ao longo do desenvolvimento da árvore e por este motivo é que as curvas absolutas se cruzam em diferentes momentos. A análise das curvas revela ainda que as árvores que atingiram as maiores alturas dominantes cresceram em um ritmo mais linearizado.

Mesmo considerando somente a fase inicial de crescimento, pode-se observar que existem variações mesmo dentro deste curto espaço de tempo, notadamente com uma fase de crescimento inicial mais lenta, acelerando o ritmo quando as árvores ultrapassam os 2 m de altura. Nos melhores sítios este “arranque

de crescimento” ocorre mais cedo, a partir do terceiro ano, e nos sítios inferiores, a partir do ano 4 ou 5.

Os resultados observados corroboram àqueles apresentados por Carvalho e Medrado (2003), ao afirmarem que araucárias plantadas crescem lentamente nos primeiros anos, aumentando o incremento anual em altura para 1 metro e alcançando entre 1,5 e 2 m a partir do quinto ano de idade das árvores, em sítios de boa qualidade.

O efeito prático disto é que para o planejamento de tratos culturais, em especial as roçadas pós-plantio, devem ser previstas em épocas e periodicidades distintas, visto que nos sítios inferiores parece claro admitir que a operação deva ser repetida até quatro anos após o plantio, e no caso dos sítios superiores, entre o segundo e terceiro ano de idade, dependendo da densidade, já seria o suficiente.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS

Na literatura há quase uma unanimidade em relação ao uso do modelo de Richards para ajustar curvas de crescimento biológico, inclusive nas ciências florestais (MACHADO et al., 1997). Este modelo produz excelentes resultados para povoamentos maduros, onde o crescimento observado abrange as fases de adaptação, juvenilidade e maturidade. Contudo, existem alternativas representadas por modelos matemáticos, lineares ou não-lineares, tal qual demonstrado por SCHEEREN et al. (1999) que trabalharam com a *A. angustifolia*. A flexibilidade do modelo de Richards é uma das razões para sua ampla utilização na área florestal e sua aplicação está bastante difundida para séries temporais mais longas.

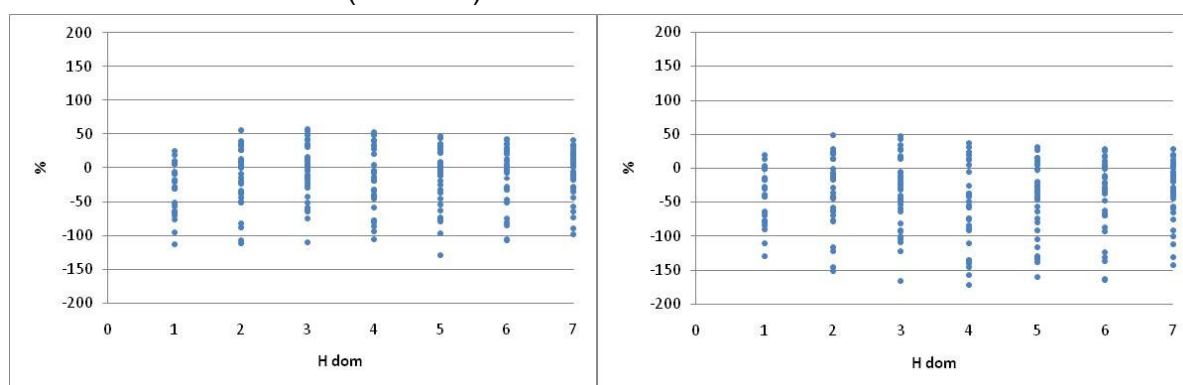
A aplicação do modelo Logístico para ajuste da curva média de crescimento em altura resultou em um bom desempenho, considerando a explicação biológica dessa expressão matemática. A Tabela 19 mostra que o desempenho estatístico desse é levemente superior que o do modelo de Richards, com base nos valores do coeficiente de determinação e no menor erro padrão da estimativa. Além destes indicativos, a análise gráfica dos resíduos mostra que embora ambos os modelos tenham tendências claras de subestimativas, o modelo de Richards é

menos preciso neste sentido (Figura 20).

TABELA 19 – COEFICIENTES E PRINCIPAIS ESTATÍSTICAS DOS MODELOS LOGÍSTICOS E DE RICHARDS TESTADOS PARA EXPRESSAR A RELAÇÃO ENTRE A ALTURA DOMINANTE E A IDADE, PARA POVOAMENTOS DE *A. ANGUSTIFOLIA*, ATÉ A IDADE DE 7 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL-PR.

| Modelo | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | R^2 | $S_{yx}\%$ |
|-----------|----------|----------|----------|---------|-------|------------|
| Richards | 7,496415 | 2,498129 | 0,531751 | 0,71222 | 0,726 | 52,60 |
| Logístico | 6,918696 | 30,00337 | 0,645313 | | 0,728 | 41,91 |

FIGURA 20 – GRÁFICOS DOS RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA ALTURA DOMINANTE POR IDADE, PARA OS MODELOS LOGÍSTICO (ESQUERDA) E DE RICHARDS (DIREITA)



O modelo logístico, assim como o de Richards, é representado por uma curva sigmóide, mas com uma diferença em relação ao ponto de inflexão (Karkach, 2006). Nesse caso a taxa máxima de crescimento refere-se à metade do limite superior, sendo a curva simétrica neste ponto. Já o modelo de Richards é mais flexível nesse sentido.

O máximo crescimento é alcançado logo após as árvores terem ultrapassado o período de adaptação e onde a concorrência com a vegetação matricial já está superada. Parece coerente admitir que este ponto coincida com o momento em que a árvore atinge metade da altura máxima registrada. Isto está de acordo com o comentário de Karkach (2006), o qual afirma que o modelo logístico, por ser mais simples, tem um bom desempenho em séries temporais mais curtas. Por sua vez, o modelo de Richards, embora majoritariamente adotado para explicar o crescimento florestal, é mais adequado para o ajuste de séries temporais longas,

com dados obtidos quando a árvore já está na fase final de desenvolvimento.

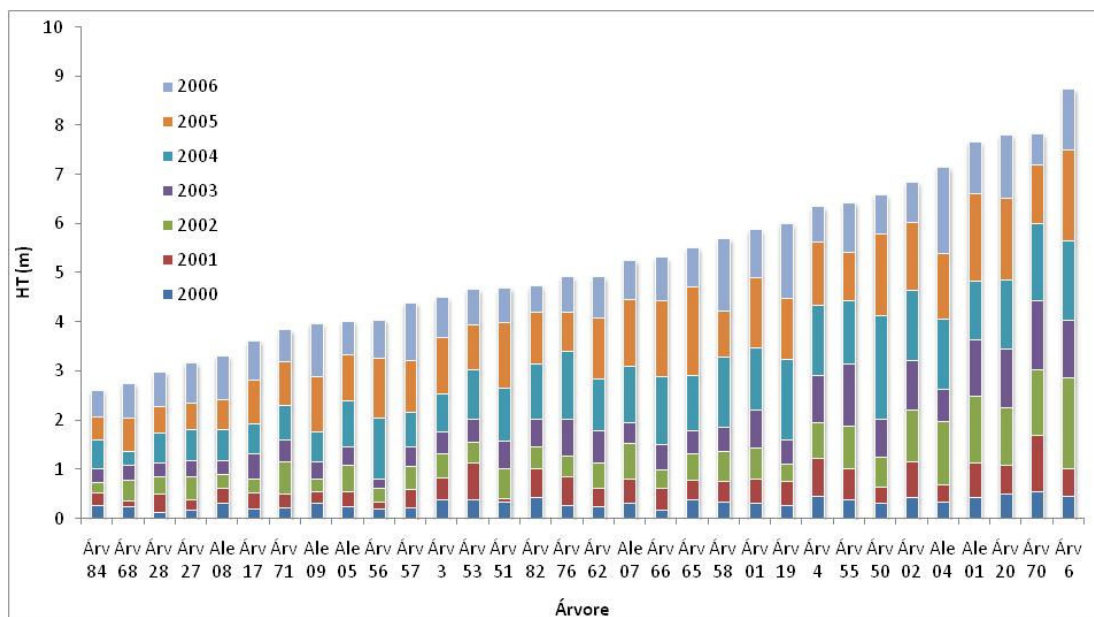
Cabe aqui um comentário sobre o motivo de se ter adotado a idade 7 para a análise do crescimento anual, considerando que algumas árvores foram cortadas aos 9 anos. Dado os procedimentos efetuados para facilitar a medição da posição, projeção e número de galhos em cada pseudo-verticilo, as árvores mantidas em pé, em 2006, foram drasticamente podadas. O efeito de redução do crescimento foi claramente percebido na medição dos últimos anéis de crescimento. Assim, recorreu-se a limitar a série temporal até a idade que este efeito não exercesse influência.

Uma questão pertinente sobre o uso de um modelo sigmóide para expressar a fase inicial de crescimento está relacionada com o ponto de inflexão. Um estudo conduzido em uma série temporal mais longa demonstra que a culminação no incremento acontece na primeira década de vida das árvores (SANTOS, 2006).

O autor supracitado identificou a maior crescimento em altura da araucária na idade de 9 anos, em um plantio experimental em Rio Negro, e já aos 10 anos o cruzamento das curvas de ICA e IMA. Por sua vez, Schneider et al. (1992) afirmam que o incremento em altura dominante é maior nos cinco primeiros anos de desenvolvimento do plantio.

De Hoog (1981) igualmente mostra uma fase de crescimento inicial acelerado e uma diminuição nos anos posteriores, sendo o intervalo de 5 a 10 anos o de maior crescimento em altura. No presente estudo, de uma série temporal de sete anos, os maiores incrementos anuais em altura foram observados na idade seis (Figura 21).

FIGURA 21 – CRESCIMENTOS ANUAIS EM ALTURA DE TODAS AS ÁRVORES SUBMETIDAS À ANÁLISE DE TRONCO ATÉ A IDADE DE 7 ANOS



Para a classificação de sítios tomou-se como base a curva média de crescimento, ajustada segundo o modelo logístico. Foram traçadas 5 curvas de sítio, com amplitude de 1,3 m, na idade índice 7 anos (Tabela 20).

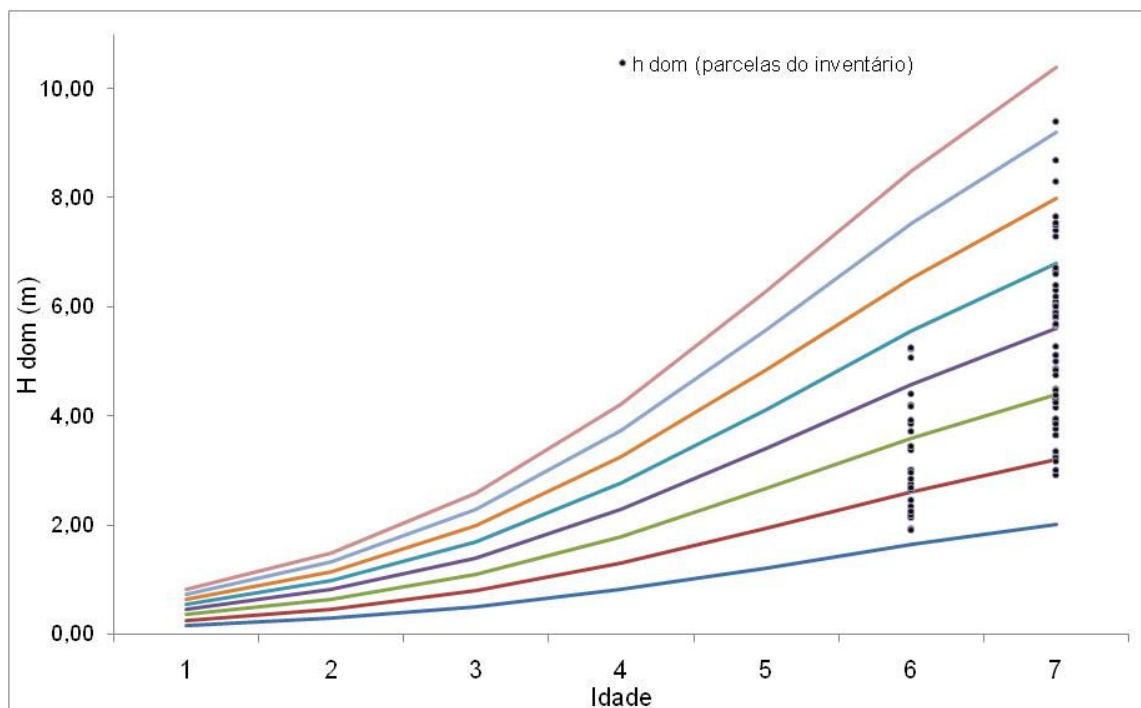
TABELA 20 – CLASSES DE SÍTIO COM SEUS LIMITES, INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) E VALOR DO ÍNDICE DE SÍTIO (S) PARA A IDADE DE REFERÊNCIA DE 7 ANOS

| Classe | LI (<i>Hdom</i> , em metros) | LS (<i>Hdom</i> , em metros) | S (m) |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| I | 7,7 | 9,0 | 8,35 |
| II | 6,4 | 7,7 | 7,05 |
| III | 5,1 | 6,4 | 5,75 |
| IV | 3,8 | 5,1 | 4,45 |
| V | 2,5 | 3,8 | 3,15 |

Comparando os índices de sítio obtidos neste trabalho com aqueles encontrados por Schneider, Finger e Hoppe (1992) para o planalto médio do Rio Grande do Sul, na FLONA de Passo Fundo, pode-se concluir que esta variabilidade, por certo pronunciada, é normal para a espécie. Naquelas condições, usando as curvas de sítio publicadas por aqueles autores, as alturas aos 7 anos variam entre 3,9 a 8,01 m. De Hoog (1981) analisando povoamentos implantados em todo o sul do Brasil estimou valores de altura dominante variando entre 2,33 a 9,94 m, divididas

em 7 classes de sítio. Na Figura 22 vê-se que sete classes de sítio abrangeram toda a variabilidade dos dados.

FIGURA 22 – CURVAS LIMITES DE SÍTIO E DISPERSÃO DOS DADOS DAS ALTURAS DOMINANTES OBTIDAS PELO INVENTÁRIO FLORESTAL, ATÉ A IDADE DE 7 ANOS



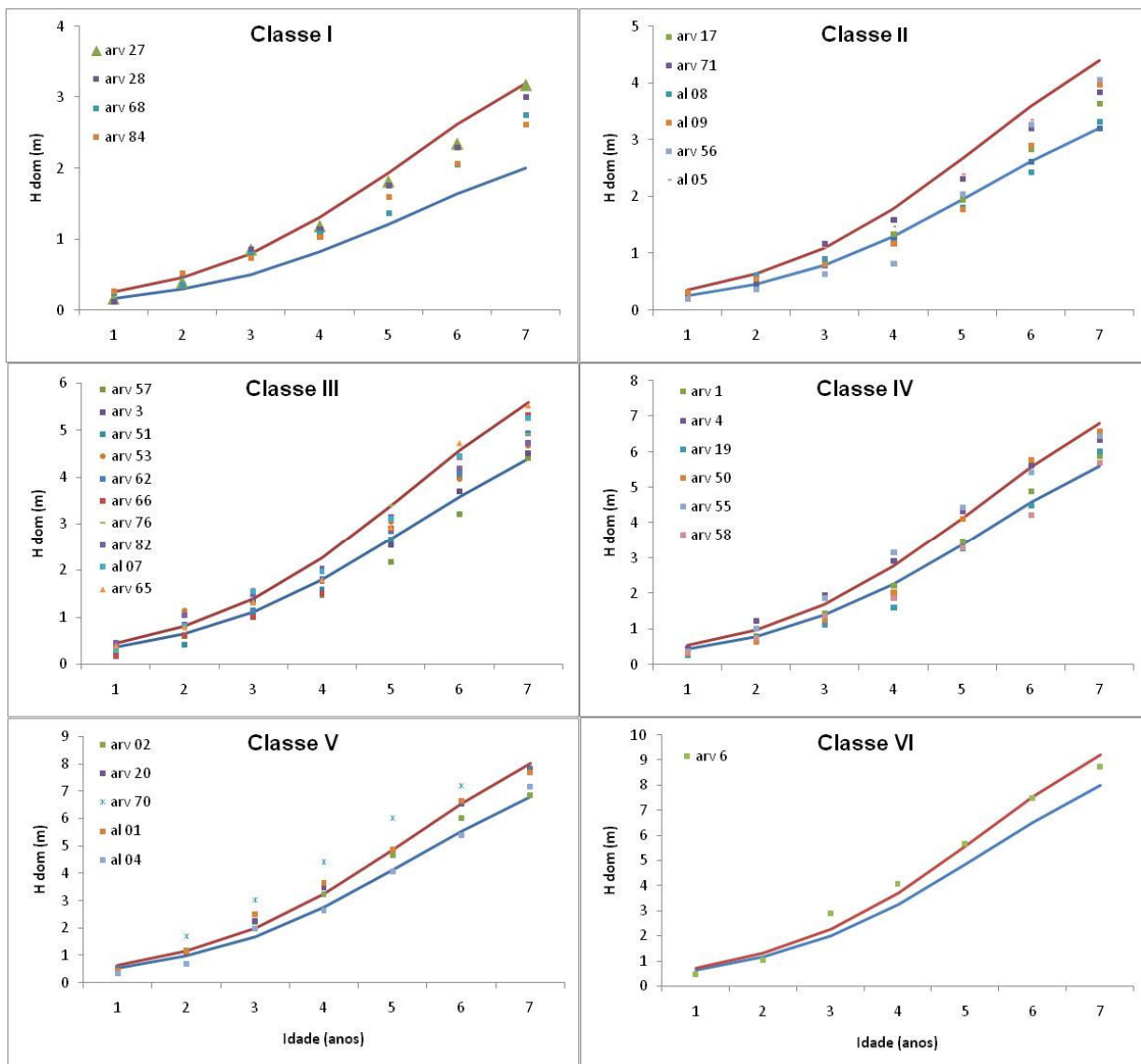
A princípio foram estabelecidas apenas cinco classes de sítio (II a VI), mas após a plotagem das alturas dominantes obtidas pelo inventário, denotou-se que duas amostras, uma no limite superior e outra no inferior demandou a inclusão de mais duas classes, partindo-se de I – melhor sítio para VII- pior sítio.

O teste de estabilidade das curvas mostra se uma árvore mantém-se na mesma classe ao longo da série temporal. Sobre isso Clutter (1984) afirma que a altura média das árvores dominantes deve permanecer numa mesma classe de sítio durante toda a sua vida, propiciando, dessa forma, uma forte base para estudos de crescimento e produção.

A análise gráfica da confiabilidade das curvas de sítio mostra que em muitos casos ocorre uma flutuação entre diferentes classes de sítio. Um ponto a ser ressaltado é a ausência da classe de sítio VII, de pior qualidade, no sistema de

curvas gerado (Figura 23). Embora o inventário tenha detectado parcelas com alturas dominantes compatíveis com esta classe, nenhuma árvore dessa dimensão foi incluída na análise de tronco.

FIGURA 23 – CURVAS LIMITE DE SÍTIO E COMPORTAMENTO DO CRESCIMENTO E ALTURA DOMINANTE PARA TODAS AS ÁRVORES MEDIDAS INDIVIDUALMENTE, SEPARADAS POR CLASSES DE SÍTIO



Nota: O fato da classe VII não estar representada ocorreu em função de que nenhuma árvore desta classe foi cortada e submetida à análise de tronco.

Este comportamento oscilatório entre classes parece ser mais acentuado nas idades iniciais. Isto corrobora que a expressão da qualidade do sítio talvez se

manifeste decisivamente no crescimento após a fase inicial do crescimento. Certamente que árvores jovens ainda não exploraram todo o potencial do local de plantio. Por exemplo, se este local possui um solo raso, essa limitação seria decisiva quando o sistema radicular confrontasse este impedimento. Além disso, possíveis diferenças quanto aos tratos culturais poderiam estar definindo ritmos iniciais diferentes de extensão do tronco. Estas flutuações são mais explícitas nos melhores sítios.

Santos (2006) também diagnosticou que as alternâncias entre classes ocorrem na fase inicial de crescimento, havendo estabilização das curvas quando o povoamento atinge a idade de 11 anos. Isto, contudo, não significa que deva-se adotar um ciclo curto de manejo, mas sim que um regime de desbastes sintonizado com o desenvolvimento do povoamento pode manter o crescimento em níveis adequados. O estudo de Nogueira (1989) trouxe evidências neste sentido, mostrando que mesmo árvores adultas em florestas naturais retomam o crescimento radial após a eliminação artificial da competição.

Do ponto de vista de predição do comportamento em crescimento não há dúvida que oscilações ainda irão ocorrer ao longo da vida do povoamento em análise. Isto demonstra que a avaliação do crescimento inicial não se presta para a prognose da produção florestal, embora no caso de plantios de araucária as flutuações sejam comuns até em idades avançadas.

Para diminuir as oscilações para fins de aplicação das curvas-índice para a classificação de sítios como ferramenta de manejo florestal seria usual utilizar somente 3, no máximo 5, curvas. No entanto, o objetivo aqui era detectar os padrões de crescimento individual e por isso 7 classes foram adotadas.

Scheeren et al. (1999) avaliaram o crescimento em altura da araucária, em povoamentos com idades variando entre 39 e 46 anos. Concluíram que, mesmo se tratando de uma mesma região, subdividida em três sítios naturais, segundo critérios edáficos, o comportamento de crescimento é oscilatório, indicando a necessidade da construção de 7 sistemas de curvas índices para classificar os sítios do local com melhor precisão.

4.4 FORMAÇÃO DOS VERTICILLOS

A formação anual de verticilos é um fenômeno comum para várias espécies de coníferas e existem citações neste sentido para a *A. angustifolia* (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). Se isto é, de fato, um fenômeno comum nessa espécie, os resultados obtidos mostram que, na fase juvenil de crescimento, não há esta proporcionalidade entre a idade e o número de verticilos. Em nenhuma das árvores medidas o número de verticilos corresponde ao número de anéis de crescimento (Tabela 21), bem como em todos os casos o número de verticilos superou a idade da árvore. O ritmo de formação varia entre 1,3 e 2,6 verticilos por ano, sendo formados, em média, 1,9 verticilos em cada estação de crescimento, com uma distância média de 0,39 m entre os lançamentos. Vê-se também nesta tabela que o coeficiente de variação é maior para a distância média entre os verticilos do que para o número de verticilos formados.

Luske e Le-Quesne (2000) haviam reportado a mesma situação, mas no caso da espécie andina *Araucaria araucana*, concluindo que os verticilos formados são em menor número do que o número de anéis de crescimento, mesmo em árvores relativamente jovens.

TABELA 21 – NÚMERO DE VERTICILOS (nv), NÚMERO DE VERTICILOS EMITIDOS POR ANO ($nv.ano^{-1}$) E DISTÂNCIA MÉDIA (dm) ENTRE OS VERTICILOS, DE 35 ÁRVORES AOS 7 ANOS DE IDADE

| Árvore | Todo o tronco | | | Acima de 1,30 m | | |
|--------|---------------|---------------|--------|-----------------|---------------------|----------------|
| | nv | $nv.ano^{-1}$ | dm (m) | nv_{dap} | $nv.ano^{-1}_{dap}$ | dm_{dap} (m) |
| 1 | 12,0 | 1,7 | 0,49 | 8,0 | 2,0 | 0,57 |
| 2 | 16,0 | 2,3 | 0,43 | 11,0 | 2,8 | 0,50 |
| 3 | 12,0 | 1,7 | 0,38 | 7,0 | 1,8 | 0,46 |
| 4 | 15,0 | 2,1 | 0,42 | 10,0 | 2,5 | 0,50 |
| 5 | 17,0 | 2,4 | 0,51 | 12,0 | 3,0 | 0,62 |
| 6 | 10,0 | 1,4 | 0,36 | 4,0 | 1,3 | 0,58 |
| 7 | 17,0 | 2,4 | 0,35 | 10,0 | 3,3 | 0,47 |
| 8 | 17,0 | 2,4 | 0,46 | 12,0 | 3,0 | 0,54 |
| 9 | 9,0 | 1,3 | 0,35 | 4,0 | 2,0 | 0,47 |
| 10 | 12,0 | 1,7 | 0,25 | 6,0 | 3,0 | 0,28 |
| 11 | 11,0 | 1,6 | 0,60 | 7,0 | 2,3 | 0,76 |
| 12 | 12,0 | 1,7 | 0,39 | 7,0 | 2,3 | 0,49 |
| 13 | 11,0 | 1,6 | 0,42 | 7,0 | 1,8 | 0,48 |
| 14 | 13,0 | 1,9 | 0,50 | 8,0 | 2,0 | 0,64 |
| 15 | 13,0 | 1,9 | 0,31 | 6,0 | 3,0 | 0,46 |
| 16 | 12,0 | 1,7 | 0,37 | 6,0 | 2,0 | 0,52 |
| 17 | 14,0 | 2,0 | 0,41 | 9,0 | 2,3 | 0,49 |
| 18 | 11,0 | 1,6 | 0,45 | 6,0 | 2,0 | 0,60 |
| 19 | 13,0 | 1,9 | 0,42 | 8,0 | 2,0 | 0,53 |
| 20 | 15,0 | 2,1 | 0,35 | 8,0 | 2,7 | 0,50 |
| 21 | 11,0 | 1,6 | 0,25 | 4,0 | 2,0 | 0,36 |
| 22 | 18,0 | 2,6 | 0,44 | 14,0 | 2,8 | 0,47 |
| 23 | 9,0 | 1,3 | 0,43 | 5,0 | 1,7 | 0,51 |
| 24 | 13,0 | 1,9 | 0,38 | 7,0 | 2,3 | 0,52 |
| 25 | 15,0 | 2,1 | 0,32 | 8,0 | 2,0 | 0,43 |
| 26 | 11,0 | 1,6 | 0,24 | 3,0 | 1,5 | 0,44 |
| 27 | 15,0 | 2,1 | 0,51 | 10,0 | 2,5 | 0,64 |
| 28 | 13,0 | 1,9 | 0,55 | 9,0 | 2,3 | 0,65 |
| 29 | 12,0 | 1,7 | 0,34 | 7,0 | 2,3 | 0,39 |
| 30 | 13,0 | 1,9 | 0,41 | 8,0 | 2,0 | 0,50 |
| 31 | 12,0 | 1,7 | 0,28 | 6,0 | 3,0 | 0,34 |
| 32 | 15,0 | 2,1 | 0,27 | 8,0 | 4,0 | 0,33 |
| média | 13,1 | 1,9 | 0,39 | 7,7 | 2,4 | 0,50 |
| CV% | 17,9 | 17,9 | 22,7 | 32,8 | 24,6 | 20,2 |

Considerando somente a porção de tronco acima da altura de 1,30 m têm-se que a formação anual varia entre 1,3 a 4 verticilos anuais. Além disso, a distância média entre os verticilos aumenta de 0,39 para 0,50 m. A comparação das médias entre todo o tronco e somente a porção acima de 1,30 m mostra que essas diferenças são significativas (Tabela 22).

TABELA 22 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DO NÚMERO DE VERTICILOS ANUAIS E DISTÂNCIA MÉDIA ENTRE OS VERTICILOS

| Variáveis | \bar{x} | s^2 | t ($p=0,05$) |
|---------------------------------------|-----------|-------|----------------|
| nv.ano ⁻¹ | 1,91 | 0,11 | |
| nv.ano ⁻¹ _{dap} * | 2,40 | 0,33 | 0,000** |
| dm | 0,39 | 0,008 | |
| dm _{dap} * | 0,50 | 0,010 | 0,000** |

* verticilos formados acima de 1,30 m

** significativo ao nível de significância de 0,01.

As diferenças observadas podem ser explicadas. Primeiro deve-se levar em consideração que o ritmo de crescimento aumenta a partir do 3º ano de vida da árvore e, conseqüentemente, o número de verticilos formados anualmente tende a ser maior, assim como a distância entre eles. A segunda questão remonta ao desenvolvimento inicial de plantio, quando as árvores ainda dividem o espaço com a vegetação espontânea, inibindo a expansão lateral da copa.

A seqüência da análise dos dados mostra que existem correlações positivas com os parâmetros de crescimento, nesse caso entre o incremento médio anual e o número de verticilos formados por ano, além da distância média entre os verticilos (Tabela 23).

TABELA 23 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DE FORMAÇÃO DA COPA E INCREMENTO MÉDIO ANUAL EM ALTURA.

| Variável | nv | nv.ano ⁻¹ | dm | nv _{dap} | nv.ano ⁻¹ _{dap} | dm _{dap} |
|-------------------------------------|---------|----------------------|---------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|
| nv.ano ⁻¹ | 0,996** | - | | | | |
| dm | 0,172 | 0,194** | - | | | |
| nv _{dap} | 0,899** | 0,904** | 0,507* | - | | |
| nv.ano ⁻¹ _{dap} | 0,667** | 0,653** | -0,120 | 0,530* | - | |
| dm _{dap} | 0,023 | 0,043 | 0,896** | 0,249 | -0,296 | - |
| IMA _h | 0,751** | 0,765** | 0,763** | 0,905** | 0,329 | 0,609** |

* Correlação é significativa ao nível de 0,05

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

Devido a existência de correlações significativas entre as variáveis de formação da copa e IMA_h vislumbrou-se a possibilidade de ajuste de uma função com a premissa matemática estimativa do incremento em função do número de verticilos formados (nv) e a distância média entre os verticilos (dm), o que resultou na Equação 9.

$$Ima_h = -0,73719 + 1,803916 * dm + 0,05869 * nv \quad (R^2=0,98, Syx=0,09\%) \quad (\text{Eq. 9})$$

A análise de variância da regressão mostra que o modelo pode ser utilizado para a estimativa do IMA_h (Tabela 24). Obviamente que esta equação é aplicável para árvores jovens, pois em árvores adultas a contagem de verticilos seria bastante difícil e laboriosa.

TABELA 24 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO LINEAR, SENDO $Ima_h=f(dm, nv)$

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Regressão | 2 | 1,634568 | 0,817284 | 1300,094** |
| Resíduo | 29 | 0,01823 | 0,000629 | |
| Total | 31 | 1,652799 | | |

** significativo ao nível de 0,01

Como alternativa, a contagem dos verticilos pode ser feita somente a partir da altura de 1,30 m e isso resultou em igualmente em um bom ajuste (Tabela 25). A regressão linear múltipla com o incremento médio em altura como variável dependente e o número de verticilos e a distância média (ambos acima de 1,30 m) como variáveis independentes resultou na equação 10:

$$Ima_h = -0,3219 + 1,0293 * dm + 0,0717 * nv \quad (R^2=0,95, Syx = 0,46\%) \quad (\text{Eq. 10})$$

TABELA 25 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO LINEAR, SENDO $Ima_h=f(dm, nv)$

| | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Regressão | 2 | 1,57773 | 0,788865 | 338,596** |
| Resíduo | 29 | 0,065235 | 0,00233 | |
| Total | 31 | 1,642964 | | |

Segundo Bueno¹⁶, citado por Carvalho e Medrado (2003), as árvores jovens emitem, em média, 2 pseudo-verticilos por ano e na fase adulta apenas 1. Esta periodização da ramificação em árvores adultas pode indicar justamente o momento quando a árvore transpõe a juvenilidade.

Baseando-se nessa hipótese foi testado um modelo para ajuste do número de verticilos em função da idade. Disto resultou a aplicação de modelos sigmóides, obtendo-se um bom resultado com o modelo Log Normal (Tabela 26), comprovando que a formação de verticilos segue a mesma tendência da curva do crescimento em altura.

TABELA 26 – RESULTADO DA APLICAÇÃO DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS DE CRESCIMENTO NA FORMAÇÃO DE VERTICILLOS.

| | Função | a | b | c | R ² | S _{yx} % |
|------------|--|-----------|-----------|----------|----------------|-------------------|
| Log normal | $nv = a \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln \frac{Id.}{b}}{c} \right)^2 \right]$ | 38,089803 | 77,548547 | 1,649785 | 0,85 | 22,79 |

Onde: *a*, *b* e *c* são os coeficientes, *nv* é o número de verticilos e *Id* é a idade.

4.5 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS

Em diferentes situações pôde-se demonstrar que o ritmo de crescimento da árvore está correlacionado com a conformação morfométrica da árvore. De fato, as medidas das proporções dimensionais da copa podem servir de apoio para a interpretação da dinâmica de crescimento das árvores, mesmo na fase juvenil do povoamento.

A Tabela 27 apresenta os valores obtidos em relação às principais relações dimensionais das árvores medidas. Interessante é notar que a variação da proporção de copa é menor do que das demais variáveis, indicando haver certa estabilidade neste sentido.

¹⁶BUENO, J. Regeneración natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. K. **Anales Científicos**, Lima, v. 3, n. 3, p. 278-299, 1965.

TABELA 27 – VALORES BIOMÉTRICOS E MOROFMÉTRICOS DAS ARAUCÁRIAS COM 7,3 ANOS, EM TIJUCAS DO SUL, PR

| Variáveis | média | máximo | mínimo | CV% |
|--|-------|--------|--------|-------|
| DAP_{2007} (cm) | 9,2 | 17,0 | 3,5 | 41,85 |
| Altura Total $_{2007}$ (m) | 6,1 | 9,4 | 3,2 | 32,27 |
| Comprimento de copa [$l = h - ic$] (m) | 4,8 | 7,9 | 2,0 | 37,45 |
| Diâmetro de copa [dc] (m) | 3,3 | 5,2 | 1,7 | 29,18 |
| Altura da inserção da copa [ic] (m) | 1,2 | 1,8 | 0,7 | 23,45 |
| Proporção de copa [l/h] (%) | 78,0 | 86,8 | 59,5 | 08,64 |
| Índice de saliência [dc/dap] | 39,0 | 61,5 | 26,3 | 23,31 |
| Índice de abrangência [dc/h] | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 12,60 |
| Formal de copa [dc/l] | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 16,62 |

Na Tabela 28 encontram-se os valores estatísticos da relação entre os incrementos médios anuais em altura e diâmetro (ht e DAP) e diversas características das copas das árvores medidas. Optou-se, para o ajuste destas relações, por uma função genérica linearizada, já testada para dados morfométricos (DURLO, 1998), conhecida na área florestal como função de Stoffels. Esta função simples, mas funcional, parece ser adequada para descrever as relações entre diferentes dimensões de crescimento de uma árvore.

TABELA 28 – COEFICIENTES ESTIMADOS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA E ERRO PADRÃO PARA A RELAÇÃO ENTRE OS INCREMENTOS MÉDIOS EM ALTURA E DIÂMETRO E CARACTERÍSTICAS DA COPA.

| Variável independente | Variável dependente | a | b | R^2 | Sign. | s_{yx} % |
|-------------------------------------|---------------------|---------|---------|-------|---------------------|------------|
| Altura de inserção da copa (ic) | IMA_{dap} | 0,1663 | 0,2147 | 0,176 | 0,012* | 17,96 |
| | IMA_{ht} | 0,2884 | 0,4047 | 0,280 | 0,001** | 24,81 |
| Comprimento da copa (l) | IMA_{dap} | 1,4050 | 0,7694 | 0,909 | 0,000** | 9,37 |
| | IMA_{ht} | 1,7809 | 1,1890 | 0,972 | 0,000** | 8,27 |
| Diâmetro da copa (dc) | IMA_{dap} | 1,0714 | 0,5847 | 0,904 | 0,000** | 7,03 |
| | IMA_{ht} | 1,3434 | 0,8457 | 0,847 | 0,000** | 14,18 |
| Porcentagem de copa ($l/h * 100$) | IMA_{dap} | 4,3370 | 0,1337 | 0,522 | 0,000** | 4,68 |
| | IMA_{ht} | 4,3982 | 0,1890 | 0,467 | 0,000** | 8,27 |
| Grau de esbeltez (h/dap) | IMA_{dap} | -0,0230 | 0,3040 | 0,647 | 0,000** | 9,37 |
| | IMA_{ht} | 0,4589 | 0,4200 | 0,448 | 0,000** | 18,91 |
| Índice de saliência (dc/dap) | IMA_{dap} | 4,0910 | -0,3603 | 0,767 | 0,000** | 8,59 |
| | IMA_{ht} | 3,5002 | -0,5743 | 0,707 | 0,000** | 14,18 |
| Índice de abrangência (dc/h) | IMA_{dap} | -0,5371 | -0,0563 | 0,057 | 0,168 ^{ns} | 10,15 |
| | IMA_{ht} | -0,6444 | -0,1543 | 0,155 | 0,022* | 14,18 |
| Formal de copa (dc/l) | IMA_{dap} | -0,1440 | -0,1688 | 0,294 | 0,001** | 10,93 |
| | IMA_{ht} | -0,4375 | -0,3432 | 0,441 | 0,000** | 15,36 |

Nota: Foi utilizado o modelo $\ln(y) = a + b \cdot \ln(x)$.

Pelo exposto nota-se que quase todas as variáveis morfométricas estão relacionadas com o crescimento. Somente no caso da relação entre as variáveis índice de abrangência e incremento em diâmetro o valor de significância calculado é maior do que o nível de significância tabelado ($\alpha=0,01^{**}$ e $\alpha=0,05^{*}$). Em todos os outros casos esses limites não são superados, demonstrando que a formação e conformação da copa é uma função do crescimento.

O grau de esbeltez, ou quociente altura por diâmetro (h/dap), mostra uma leve tendência de queda com o aumento do incremento diamétrico. Essa mesma tendência foi observada para *Cabralea canjerana* por Durlo (2001), e por Tonini e Arco-Verde (2005) para as espécies amazônicas ipê-roxo, castanheira e jatobá, demonstrando que árvores de melhor crescimento são também mais robustas, pois para cada metro de aumento em altura aumenta-se mais do que um centímetro em *DAP*. À medida que o povoamento evolui rumo à maturidade diminui a inclinação da curva hipsométrica, vide os resultados publicados por Bartoszeck et al. (2003).

Os baixos valores do coeficiente de determinação da relação da altura de inserção da copa em função dos incrementos de altura ou diâmetro, mostram que mesmo aos 7 anos as árvores ainda mantêm galhos vivos relativamente na mesma altura. Isto é comprovado pela observação da relação entre a porcentagem de copa, que aumenta significativamente com o aumento dos incrementos.

Portanto, se o objetivo do plantio for a formação de madeira limpa (sem nós), é importante que em árvores de rápido crescimento as podas sejam antecipadas, diminuindo a rotação para a formação de madeira de qualidade superior. Não se tem uma recomendação definitiva, mas estudos mostram que em pinus a retirada de 50% da copa viva em árvores com 3,5 anos não trouxe efeitos negativos ao crescimento (ENDO; MESA, 1992). Sabe-se que a derrubada de galhos na araucária é um processo lento e gradual e, portanto, pelo menos uma poda deve ser feita ao longo da rotação (NUTTO; SPATHELF, 2003).

O balanço entre a desrama e a formação de novos verticilos, bem como a distância entre as novas “peças” do tronco definem a forma da árvore. No caso das árvores observadas a formação de novos verticilos sobrepõe à queda dos galhos. A

média é de $1,7 \mp 0,6$ galhos formados para cada verticilo caído. Em árvores adultas, e muitas vezes próximo à estabilização do crescimento em altura, a relação é inferior a 1, e gradativamente a árvore vai assumindo sua forma típica, com a copa ocupando apenas o ápice do tronco. Isto corrobora o trabalho de Nogueira (1989), o qual observou a mesma dinâmica para árvores crescendo em comunidades nativas, citando que esta fase corresponde ao período de maior incremento da árvore.

4.6 ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DA ALTURA

A estimativa da densidade ideal em função da altura total das árvores mostrou ser válida como ferramenta de apoio para decisões de manejo da área. A fórmula proposta por Péllico-Netto (1986) simplifica o cálculo da densidade ideal, quando se dispõe de informações acerca das dimensões da copa.

Em um primeiro momento o cálculo levou em consideração a densidade em função de cada altura computada individualmente. Os pares de dados de densidade e altura para cada árvore são apresentados na Tabela 28.

TABELA 29 – ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA AS ÁRVORES MEDIDAS INDIVIDUALMENTE

| Árv. | dc/l (k) | ht | l/ht (pc%) | n.ha ⁻¹ | Árv. | dc/l (k) | ht | l/ht (pc%) | n.ha ⁻¹ |
|-------|----------|-------|------------|--------------------|------|----------|-------|------------|--------------------|
| 1 | 0,68 | 6,05 | 0,77 | 1259,1 | 19 | 0,73 | 6,30 | 0,87 | 795,8 |
| 2 | 0,73 | 6,45 | 0,78 | 961,0 | 20 | 0,77 | 5,30 | 0,77 | 1291,4 |
| 3 | 0,90 | 4,50 | 0,69 | 1647,5 | 21 | 0,62 | 6,10 | 0,85 | 1228,0 |
| 4 | 0,45 | 8,50 | 0,84 | 1212,9 | 22 | 0,61 | 5,60 | 0,80 | 1671,4 |
| 5 | 0,89 | 4,10 | 0,73 | 1799,5 | 23 | 0,79 | 4,25 | 0,81 | 1721,0 |
| 6 | 0,59 | 7,10 | 0,78 | 1198,0 | 24 | 0,58 | 6,45 | 0,86 | 1243,4 |
| 7 | 0,64 | 4,35 | 0,78 | 2729,0 | 25 | 0,62 | 7,95 | 0,80 | 828,6 |
| 8 | 0,59 | 9,35 | 0,84 | 591,4 | 26 | 0,90 | 5,20 | 0,77 | 982,4 |
| 9 | 0,60 | 8,70 | 0,79 | 750,1 | 27 | 0,81 | 5,00 | 0,77 | 1324,9 |
| 10 | 0,62 | 9,35 | 0,83 | 552,6 | 28 | 0,59 | 4,30 | 0,79 | 3120,4 |
| 11 | 0,68 | 8,85 | 0,86 | 463,7 | 29 | 0,83 | 3,45 | 0,74 | 2832,9 |
| 12 | 0,60 | 8,95 | 0,81 | 669,8 | 30 | 0,86 | 3,23 | 0,63 | 4205,4 |
| 13 | 0,70 | 7,65 | 0,80 | 695,1 | 31 | 0,74 | 3,42 | 0,69 | 4205,4 |
| 14 | 0,69 | 8,50 | 0,84 | 526,0 | 32 | 0,78 | 3,90 | 0,68 | 2943,0 |
| 15 | 0,53 | 8,84 | 0,83 | 820,2 | 33 | 0,93 | 3,70 | 0,59 | 3059,5 |
| 16 | 0,77 | 7,37 | 0,81 | 601,7 | 34 | 0,81 | 4,80 | 0,71 | 1695,9 |
| 17 | 0,75 | 4,15 | 0,84 | 1826,8 | 35 | 0,84 | 5,40 | 0,70 | 1243,4 |
| 18 | 0,64 | 5,20 | 0,84 | 1624,0 | | | | | |
| média | 0,67 | 7,11 | 0,80 | 1107,13 | | 0,75 | 4,96 | 0,75 | 2023,11 |
| CV% | 16,40 | 26,50 | 5,30 | 53,90 | | 14,40 | 25,10 | 10,20 | 54,30 |

Nota: *dc* é o diâmetro de copa, *l* é o comprimento de copa e *ht* é a altura total,

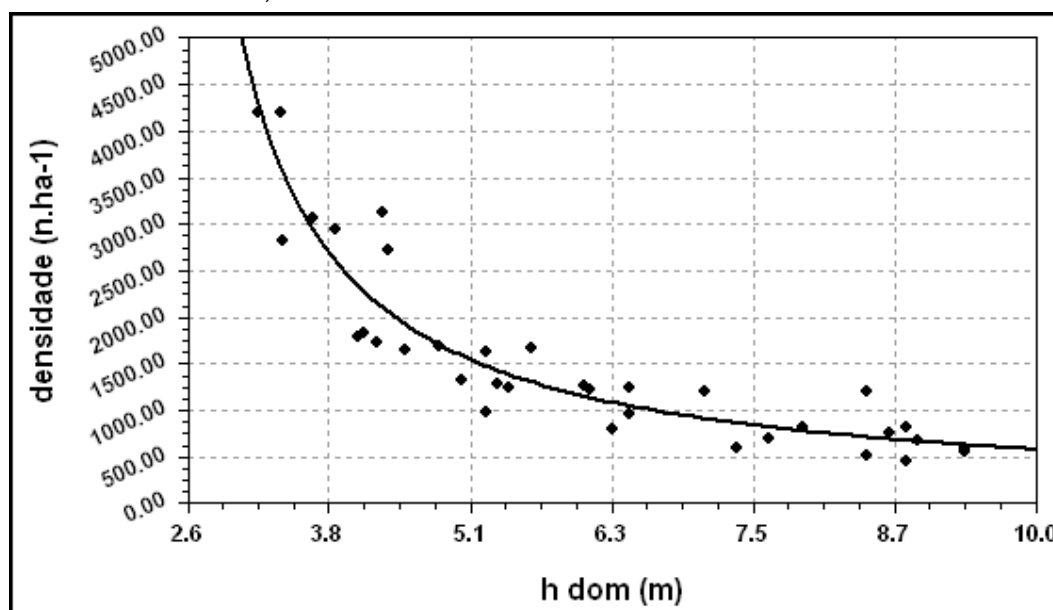
O elevado coeficiente de variação observado para a densidade mostra que foram incluídas na análise árvores de diferentes classes de tamanho.

A aplicação do modelo logístico para ajuste dos dados gerou uma função para o cálculo da densidade ideal média do povoamento para a idade de sete anos (Equação 11):

$$D = \frac{12266,47}{1+11719,29.e^{-11,60.HT^{-3,22}}} \quad (\text{Syx}=24,63\%, R^2=0,93) \quad (\text{Eq. 11})$$

A aplicação de um modelo flexível de acordo com as classes de sítio pode indicar a densidade ideal de plantas para cada idade do povoamento, o que é representado graficamente na Figura 24. Nutto (2001) desenvolveu um estudo para *A. angustifolia* neste sentido, considerando a variável DAP como base para ajuste de um modelo linear quadrático ajustado preditivo da densidade.

FIGURA 24 – AJUSTE DA ESTIMATIVA DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DA ALTURA DAS ÁRVORES, PELO MODELO LOGÍSTICO



A aplicação da curva ajustada para a estimativa da densidade ideal de acordo com a classe de sítio na idade de sete anos foi feita com base na tabela de crescimento em altura, já apresentada no item sobre a classificação de sítios, cujos

resultados estão demonstrados na tabela 30.

TABELA 30 – ESTIMATIVA DA DENSIDADE MÁXIMA POR HECTARE EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE NA IDADE DE 7 ANOS

| h_{dom} | densidade ($n.ha^{-1}$) | h_{dom} | densidade ($n.ha^{-1}$) |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| 3,0 | 5.471 | 7,0 | 931 |
| 3,5 | 3.380 | 7,5 | 844 |
| 4,0 | 2.448 | 8,0 | 773 |
| 4,5 | 1.921 | 8,5 | 713 |
| 5,0 | 1.582 | 9,0 | 662 |
| 5,5 | 1.345 | 9,5 | 618 |
| 6,0 | 1.170 | 10,0 | 580 |
| 6,5 | 1.037 | 10,5 | 546 |

Em nenhum dos casos a densidade observada nas parcelas ultrapassou os limites estabelecidos, mostrando que o desbaste do povoamento em questão, aos sete anos, seria uma medida silvicultural precoce. Mostra também que, na maioria dos casos, a densidade de plantio poderia ter sido bem maior do que a adotada no momento da implantação do povoamento.

4.7 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS

A análise da relação entre as variáveis biométricas e morfométricas demonstrou que existem correlações significativas entre estas medidas, conforme consta na Tabela 31. É importante mencionar que esta abordagem tem o caráter exploratório, e foi realizada para traçar um perfil de associação entre diferentes relações dimensionais que podem ser obtidas na mensuração de uma árvore. Da matriz apresentada pode-se extrair a informação que quase todas as variáveis mantêm uma estreita correlação entre si.

TABELA 31 – CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS PARA UM CONJUNTO DE 35 ARAUCÁRIAS MEDIDAS

| | dap | ht | nv | dm | l | dc | ic | l/ht | dc/dap | dc/ht | dc/l | ima _h | ima _d |
|------------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|------------------|------------------|
| ht | 0,95** | | | | | | | | | | | | |
| nv | 0,59** | 0,69** | | | | | | | | | | | |
| dm | -0,83** | -0,80** | -0,19 | | | | | | | | | | |
| l | 0,94** | 0,99** | 0,70** | -0,80** | | | | | | | | | |
| dc | 0,93** | 0,90** | 0,53** | -0,83** | 0,90** | | | | | | | | |
| ic | 0,50** | 0,57** | 0,315 | -0,46** | 0,46** | 0,48** | | | | | | | |
| l/ht | 0,67** | 0,64** | 0,479** | -0,60** | 0,73** | 0,64** | -0,20 | | | | | | |
| dc/dap | -0,85** | -0,77** | -0,596** | 0,64** | -0,77** | -0,66** | -0,36* | -0,62** | | | | | |
| dc/ht | -0,87** | -0,79** | -0,584** | 0,69** | -0,80** | -0,69** | -0,33* | -0,68** | 0,98** | | | | |
| dc/l | -0,55** | -0,67** | -0,648** | 0,41* | -0,70** | -0,36* | -0,11 | -0,69** | 0,63** | 0,65** | | | |
| ima _h | 0,95** | 1,00** | 0,692** | -0,81** | 0,99** | 0,90** | 0,58** | 0,64** | -0,72** | -0,79** | -0,66** | | |
| ima _d | 1,00** | 0,94** | 0,584** | -0,83** | 0,94** | 0,93** | 0,48** | 0,68** | -0,84** | -0,86** | -0,55** | 0,94** | |
| ht/dap | -0,77** | -0,58** | -0,312 | 0,65** | -0,59** | -0,70** | -0,20 | -0,57** | 0,82** | 0,82** | 0,17 | -0,57** | -0,762** |

Nota: * significativa o nível de 0,05 e ** ao nível de 0,01.

Os incrementos em diâmetro e em altura estão fortemente correlacionados (0,94). Já em relação à correlação destas variáveis com os indicadores morfométricos percebe-se que em todos os casos que os valores são significativos, sendo positivo para o número de verticilos, o comprimento de copa, o diâmetro de copa, altura de inserção da copa viva e proporção de copa. Ainda correlacionados com o IMA_h e IMA_{dap}, mas negativamente, aparecem as variáveis distância média entre os verticilos, índice de saliência, índice de abrangência e formal de copa.

Para melhor exposição destas relações recorreu-se a análise fatorial, apenas em caráter exploratório devido ao limitado número de observações efetuadas. Os resultados obtidos demonstram que existem três grupos de variáveis significativamente importantes, cada qual com um comportamento e uma percentagem de explicação da variância dos dados observados. A representação desta divisão pode ser identificada na Tabela 32 e observada na Figura 25.

TABELA 32 – MATRIZ FATORIAL ROTACIONADA VAR/MAX DE ANÁLISE DE COMPONENTES

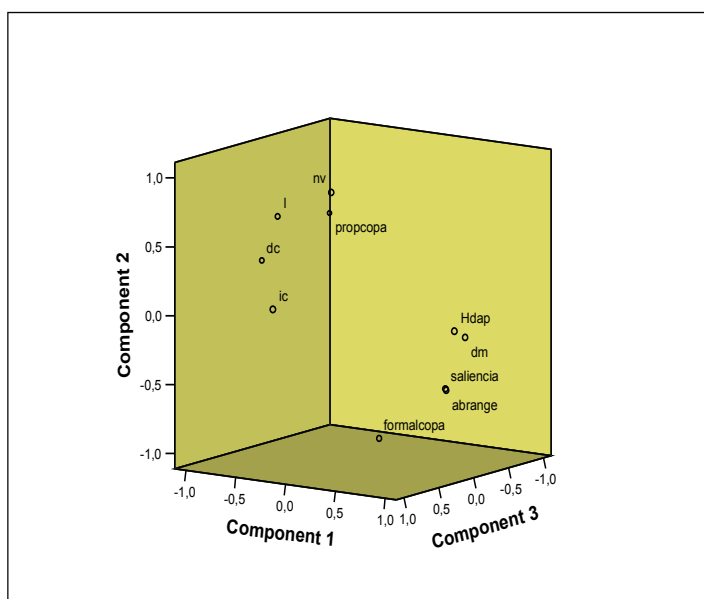
| Variáveis | Componente | | |
|-------------------------------------|------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Número de verticilos | -0,157 | 0,863 | 0,232 |
| Distância média entre os verticilos | 0,862 | -0,152 | -0,233 |
| Comprimento da copa | -0,674 | 0,642 | 0,262 |
| Diâmetro de copa | -0,800 | 0,316 | 0,309 |
| Altura de Inserção da copa | -0,236 | 0,112 | 0,955 |
| Proporção de copa | -0,644 | 0,569 | -0,439 |
| Índice de Saliência | 0,744 | -0,521 | -0,118 |
| Índice de Abrangência | 0,780 | -0,522 | -0,078 |
| Formal de copa | 0,219 | -0,904 | 0,082 |
| Relação ht/dap | 0,924 | -0,066 | 0,011 |
| Variância explicada (%) | 43,9 | 29,8 | 14,0 |
| Total da variância explicada (%) | | 87,7 | |

A análise fatorial revelou que as variáveis poderiam ser ordenadas em três componentes principais, os quais somados explicariam 87,7% da variância observada. Considerando um ponto de corte¹⁷ de 0,60 para as cargas fatoriais ter-se-ia no primeiro fator 7 cargas significantes, sendo 5 positivas e 2 negativas, mostrando que nesse caso a distância entre os verticilos, os índices de saliência e abrangência e a relação ht/dap variam juntos, assim como, mas em direção oposta, o comprimento de copa, proporção de copa e diâmetro de copa. A oposição de sinais mostra que enquanto o primeiro grupo cresce o segundo decresce. Este fator, ou componente, responde por 44% do total da variância observada. A Figura 25 ilustra o ordenamento espacial das variáveis em relação aos componentes.

Para o segundo fator apenas 3 cargas são significantes, sendo o número de verticilos e o comprimento de copa com sinal positivo e o formal de copa negativo. Esse fator responde por 30% do total da variância. O terceiro fator extraído, responsável por apenas 14% da variância acumulada, abriga uma única variável significativa, nesse caso a altura de inserção da copa.

¹⁷ Segundo Hair et al. (2005) o valor de corte de 0,6 pode ser considerado relativamente alto, mesmo com um número de observações reduzido.

FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO ORTOGONAL DAS VARIÁVEIS ANALISADAS EM RELAÇÃO AOS COMPONENTES FATORIAIS



4.8 SELEÇÃO E USO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E BIOMÉTRICAS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS

Como já citado anteriormente, a altura dominante não sofre influência da densidade do povoamento. Por isso essa variável é tão utilizada para a classificação de sítios, uma vez que não é influenciada por eventuais desbastes. Scheeren et al. (1999) e Crechi (1996) confirmaram esta hipótese em povoamentos de *A. angustifolia*.

Já as variáveis morfométricas e biométricas são, pela lógica, altamente influenciadas pela densidade, uma vez que expressam, por exemplo, a extensão lateral da copa ou a relação desta variável com o *dap*. Se por um lado isto pode ser um problema para classificação de sítios maduros, em sítios jovens o efeito da densidade ainda não se faz presente. Assim, a inclusão dessas variáveis como apoio à classificação de sítios parece ser válida, sobretudo quando o foco do trabalho for a identificação de padrões de crescimento inicial em todas as suas dimensões.

Neste sentido o processo de seleção das variáveis para a classificação de sítios agregou todas as variáveis medidas, biométricas e morfométricas, em um conjunto único. Para manter o mesmo número de classes do que o obtido pela técnica da curva média com o ajuste das árvores individuais foi fixado o número de 5 grupos resultantes da análise de agrupamentos.

Após a separação dos grupos foi feita a análise discriminante, pelo método *Stepwise*, para a seleção das variáveis com maior poder para a definição dos grupos. A partir da matriz de correlação entre as variáveis, obtida da matriz de dados brutos foram calculados os valores de *Lambda* de Wilks (λ^*), *F* e a significância obtida para cada variável, para que, a partir daí, o algoritmo iniciasse a seleção das variáveis (Tabela 33).

TABELA 33 – ESTATÍSTICA DO TESTE DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS DISCRIMINANTES PARA A MATRIZ DE DADOS BRUTOS OBTIDOS COM 4 E 25 GL

| | <i>Lambda</i> de Wilks (λ^*) | <i>F</i> | Significância |
|-------------------------|--|----------|---------------------|
| <i>ima</i> | 0,12 | 47,64 | 0,000** |
| <i>hdom</i> | 0,12 | 47,64 | 0,000** |
| <i>Nv</i> | 0,17 | 30,37 | 0,000** |
| <i>nv.ano-1</i> | 0,17 | 30,37 | 0,000** |
| <i>dm</i> | 0,59 | 04,31 | 0,008** |
| <i>Nv_{dap}</i> | 0,07 | 82,69 | 0,000** |
| <i>DM_{dap}</i> | 0,76 | 01,99 | 0,111 ^{ns} |
| <i>L</i> | 0,19 | 25,98 | 0,000** |
| <i>Dc</i> | 0,43 | 08,36 | 0,000** |
| <i>IC</i> | 0,69 | 02,87 | 0,103 ^{ns} |
| <i>l/h</i> | 0,62 | 03,81 | 0,002** |
| <i>Dc/dap</i> | 0,21 | 23,76 | 0,000** |
| <i>Dc/h</i> | 0,19 | 26,09 | 0,000** |
| <i>Dc/L</i> | 0,53 | 05,55 | 0,001** |
| <i>hd</i> | 0,51 | 06,09 | 0,000** |

Pela observação dos valores da Tabela 32 têm-se que *Nv_{dap}* foi a variável com o maior valor de *F* e menor valor de λ^* , sendo esta a primeira variável selecionada. O próximo passo, ou *step*, essa variável foi pareada com as demais e já após 2 passos foram selecionadas as variáveis com real poder de discriminação dos grupos (Tabela 34).

TABELA 34 – ESTATÍSTICA DO TESTE DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS, APÓS 2 PASSOS

| passo | Variável | F | Lambda de Wilks (λ^*) |
|-------|------------|-------|---------------------------------|
| 1 | nv_{dap} | 82,69 | |
| 2 | nv_{dap} | 21,41 | 0,1933 |
| | dc/h | 3,96 | 0,0703 |

Após a definição das variáveis foram selecionadas duas funções discriminantes para representar 100% da variância total. A primeira função selecionada explica 97,5% e possui alto nível de correlação canônica com as variáveis (0,970). A segunda função explica apenas 2,5% da variância, mas ainda assim mantém correlação com o conjunto de dados, vide a tabela 35.

TABELA 35 – ESTATÍSTICA DE SELEÇÃO DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES DE ÁRVORES AGRUPADAS SEGUNDO OS PADRÕES DE CRESCIMENTO

| Função | Autovalor | % da Variância | Variância acumulada % | Correlação Canônica | Após a função | λ^* | χ^2 | GL | Sig. |
|--------|-----------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------|-------------|----------|----|-------|
| 1 | 15,866 | 97,534 | 97,534 | 0,970 | 0 | 0,042 | 80,646 | 8 | 0,000 |
| 2 | 0,401 | 2,466 | 100,000 | 0,535 | 1 | 0,714 | 8,601 | 3 | 0,035 |

Observando os coeficientes padronizados das funções percebe-se que na primeira função destaca-se nv_{dap} e na segunda a relação dc/h (Tabela 36).

TABELA 36 – COEFICIENTES PADRONIZADOS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES DE ÁRVORES AGRUPADAS EM PADRÕES DE CRESCIMENTO, EM UM POVOAMENTO DE ARAUCÁRIA EM TIJUCAS DO SUL-PR

| Variáveis | Função | |
|------------|--------|-------|
| | 1 | 2 |
| nv_{dap} | 0,873 | 0,496 |
| dc/h | -0,415 | 0,915 |

Após esta fase foram determinados os centróides de cada função para a classificação de novas árvores com base nas funções discriminantes (Tabela 37).

TABELA 37 – CENTRÓIDES DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES AVALIADAS PARA OS CINCO GRUPOS ENCONTRADOS

| Grupo | Função | |
|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 |
| I | 0,818 | -0,450 |
| II | 3,795 | 0,029 |
| III | -1,399 | -0,455 |
| IV | 6,946 | 1,040 |
| V | -5,364 | 0,742 |

Em média 90% das árvores foram reclassificadas indicando uma boa precisão do agrupamento (Tabela 38). Certamente se o número de grupos fosse menor ter-se-ia uma melhor precisão de agrupamento, mas como explicado anteriormente, foram pré-definidos cinco grupos para haver sintonia com o número de classes definido na técnica da curva média.

TABELA 38 – NÚMERO DE CASOS E PERCENTAGENS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ÁRVORES NOS CINCO GRUPOS DETERMINADOS

| | Grupos | V | IV | III | II | I | Total |
|---|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| n | 1,00 | 7 | 0 | 2 | 0 | 0 | 9 |
| | 2,00 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| | 3,00 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 |
| | 4,00 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| | 5,00 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 6 |
| % | 77,8 | 0,0 | 22,2 | 0,0 | 0,0 | 77,8 | 100,0 |
| | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 16,7 | 0,0 | 83,3 | 0,0 | 100,0 |

Com base nos grupos formados foram calculadas as médias de todas as variáveis inseridas na análise discriminante (Tabela 39). Pode-se avaliar que o ordenamento destas variáveis demonstra um crescimento no mesmo sentido com a melhoria da classe de sítio que, neste caso, corresponde ao grupo, ou seja, melhor o terreno, melhor será o incremento em altura, maior será o número de verticilos formados por ano, a distância entre os verticilos, o diâmetro de copa e a altura de inserção da copa. Já as relações morfométricas vão no sentido inverso, pois diminuem as razões dc/dap , dc/h , dc/l quanto melhores forem os ritmos de crescimento.

TABELA 39 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS PARA OS CINCO GRUPOS DELIMITADOS

| Variáveis | Grupos | | | | |
|-------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | V | IV | III | II | I |
| ima(m.ano ⁻¹) | 1,16 | 0,96 | 0,84 | 0,65 | 0,45 |
| Hdom (m) | 8,13 | 6,72 | 5,85 | 4,52 | 3,17 |
| nv | 17,33 | 15,75 | 13,22 | 12,00 | 10,33 |
| nv.ano ⁻¹ | 2,48 | 2,25 | 1,89 | 1,71 | 1,48 |
| dm | 0,47 | 0,43 | 0,45 | 0,38 | 0,31 |
| nv _{dap} ano ⁻¹ | 12,67 | 10,25 | 8,11 | 6,63 | 4,33 |
| dm _{dap} | 0,54 | 0,53 | 0,56 | 0,49 | 0,44 |
| L | 7,43 | 5,57 | 5,14 | 3,71 | 2,67 |
| dc | 3,99 | 3,60 | 3,53 | 2,78 | 2,18 |
| ic | 1,46 | 1,35 | 1,34 | 1,04 | 1,05 |
| l/h | 0,84 | 0,81 | 0,79 | 0,78 | 0,71 |
| dc/dap | 0,27 | 0,29 | 0,34 | 0,38 | 0,49 |
| dc/h | 0,28 | 0,31 | 0,36 | 0,41 | 0,54 |
| dc/l | 0,54 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,81 |
| hd | 0,62 | 0,57 | 0,61 | 0,67 | 0,85 |

4.9 CORRELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO E AS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Os resultados obtidos em relação aos fatores ecológicos de sítio mostraram relações muito tímidas e insuficientes a ponto de explicarem a variabilidade do crescimento observada, conforme será melhor explicado adiante.

Os valores de correlação observados entre os fatores que expõem as propriedades químicas dos solos e os indicadores de crescimento não mostraram evidências explícitas sobre qual ou quais fatores poderiam explicar a variabilidade no crescimento em altura observada. Na Tabela 40 pode-se observar que nenhuma das variáveis incluídas na análise apresenta correlações, positivas ou negativas, com os indicadores do ritmo de crescimento das árvores.

TABELA 40 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS DADOS ANALÍTICOS DE SOLO E O IMA E ICA₀₆₋₀₇

| Variável | IMA | ICA ₀₅₋₀₇ |
|-------------------------------|--------|----------------------|
| pH (CaCl ₂) | 0,25 | 0,15 |
| C (g.dm ⁻³) | 0,15 | 0,19 |
| N (g.dm ⁻³) | 0,11 | 0,21 |
| P (mg.dm ⁻³) | -0,02 | -0,06 |
| K (cmol.dm ⁻³) | 0,17 | -0,01 |
| Ca (cmol.dm ⁻³) | 0,30 | 0,22 |
| Mg (cmol.dm ⁻³) | 0,08 | 0,13 |
| Al (cmol.dm ⁻³) | -0,39* | -0,29 |
| Al+h (cmol.dm ⁻³) | -0,14 | -0,02 |
| SB (cmol.dm ⁻³) | 0,28 | 0,21 |
| T (cmol.dm ⁻³) | 0,01 | 0,12 |
| V (%) | 0,28 | 0,17 |
| m (%) | -0,39* | -0,32 |

* Correlação significativa ao nível de 0,05 (bi-caudal).

Observa-se na referida tabela que apenas a saturação de Al no solo mostrou ter algum significado para explicar a variação do crescimento, mostrando que em algum grau o elemento pode ser prejudicial ao crescimento inicial da araucária, uma vez que o valor de correlação observado é negativo. Este resultado contrasta com as conclusões de Hoppe e Caldeira (2003a), os quais observaram uma correlação positiva entre o IPA e o Al, assim como com o elemento N. Há de se considerar, no entanto, que esses resultados foram obtidos em um plantio com 29 anos de idade. Por outro lado De Hoog e Dietrich (1978) demonstraram que o Al foi prejudicial ao bom crescimento da espécie e sugeriram que a neutralização do elemento via calagem, poderia melhorar os índices de crescimento.

Deve-se mencionar que embora não tenham sido observadas correlações significativas entre os teores de elementos químicos no solo e o crescimento, a maioria dos valores observados tem sinal positivo. Isto indica que a presença e oferta destes nutrientes favorecem o crescimento das árvores, ainda que seja um tanto cedo para antever estes efeitos ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do povoamento.

Os baixos valores de correlação observados neste item inviabilizaram o desenvolvimento de ajustes preditivos do crescimento com base nas características

do solo.

Em outro estudo desta natureza Cassol (1982) mostrou que existem correlações entre o incremento médio em volume e os teores de nutrientes do solo, evidenciando correlações positivas e significativas com os elementos Ca, Mg, Al e S, permitindo o uso de variáveis do solo em modelos de crescimento.

Em relação à profundidade e a composição granulométrica os resultados mostram que a profundidade possui correlação positiva com o crescimento inicial em altura (Tabela 41). O fato dos valores observados serem um pouco maiores para o caso do IPA₀₆₋₀₇ demonstra que este efeito parece estar se acentuando nos últimos anos. Este resultado já era esperado, uma vez que à medida que a árvore cresce, um maior espaço será demandado e ocupado pelas raízes e, havendo condições para isso, tal qual ocorre nos solos mais profundos, melhor será o crescimento.

TABELA 41 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS DADOS GRANULOMÉTRICOS E PROFUNDIDADE COM O IMA E IPA₀₆₋₀₇

| Variável | IMA (m.ano ⁻¹) | IPA ₀₅₋₀₇ (m.ano ⁻¹) |
|------------|----------------------------|---|
| Prof. A | 0,36* | 0,38* |
| Prof. B | 0,34 | 0,41* |
| Areia (%) | 0,25 | 0,13 |
| Silte (%) | 0,03 | 0,05 |
| Argila (%) | -0,24 | -0,16 |

* Correlação significativa ao nível de 0,05 (bi-caudal).

A maior influência das propriedades físicas do solo, em detrimento às químicas, sobre o crescimento da araucária foi citada por diferentes autores (DE HOOG, 1981; CASSOL, 1982; KEIL, 1989) e os resultados aqui obtidos reforça a tese que a limitação do crescimento da *A. angustifolia* pode ser atribuída à profundidade do solo, drenagem do solo, aeração e impedimentos mecânicos para o crescimento das raízes.

5 CONCLUSÕES

Em relação ao atendimento dos objetivos deste trabalho os resultados obtidos foram satisfatórios, o que conduz a conclusão de que a classificação de sítios em idades jovens é um procedimento aplicável, sob diferentes abordagens.

A adoção de diferentes metodologias para a determinação dos padrões de crescimento mostrou êxito. Sobre isto se têm a dizer que:

- A classificação de sítios com base na localização, uso anterior do solo e modalidade de plantio foi capaz de organizar os padrões de desenvolvimento das árvores;
- Na área em estudo a sobrevivência das árvores não possui relação com o sítio, e parece estar muito mais relacionada com os tratos culturais iniciais. Isto vale também para a relação entre altura e diâmetro (relação h/DAP);
- A aplicação de funções de densidade de probabilidade para o ajuste da distribuição dos diâmetros e alturas médias mostra ser uma boa ferramenta para apoio à classificação de sítios;
- Em termos gerais a função de Stoffels foi a de melhor comportamento para o ajuste da relação hipsométrica do povoamento analisado;
- O ajuste hipsométrico também pode ser utilizado, como ferramenta adicional para interpretação da qualidade dos sítios;
- Nenhuma função de densidade de probabilidade testada se mostrou adequada ao ajuste da distribuição diamétrica para todo o conjunto de dados, embora a função normal tenha mostrado um bom desempenho para o ajuste de uma parte da população;
- A função de Weibull mostrou ser a de melhor aderência à distribuição dos dados de altura total;
- A função de Weibull mostrou ser a mais adequada para o ajuste da distribuição das alturas dominantes por parcela;
- Os métodos de TARG, Carmean e Thales diferem entre si em relação à estimativa da altura total alcançada pela árvore em diferentes idades, sendo

o primeiro considerado mais preciso do que os demais;

- Na série temporal analisada, as árvores aceleram o ritmo de crescimento a partir dos três anos nos melhores locais e, mais tarde, aos quatro ou cinco anos, em sítios limitantes;
- Nos melhores sítios a curva de crescimento é mais acentuada do que nas áreas de crescimento mais lento;
- Tanto o modelo Logístico quanto o modelo de Richards podem ser utilizados como ferramentas da modelagem do crescimento inicial das árvores, embora com ressalvas em função de se tratar de uma série temporal curta passível de mudanças de tendência ao longo da rotação;
- O sistema de curvas de sítio gerado serve de referência para avaliação do crescimento inicial, mas é pouco útil para a prognose do crescimento e produção;
- O ritmo de formação dos verticilos na fase inicial de crescimento supera o número de anéis de crescimento, sendo que em média, 1,9 verticilos são formados anualmente;
- O ritmo de formação dos verticilos possui estreita correlação com o ritmo de crescimento da árvore, e acelera após o terceiro ano de idade;
- A dinâmica de formação dos verticilos assume uma tendência similar à curva do crescimento;
- As variáveis morfométricas possuem correlação positiva com incremento médio em altura e, igualmente, em diâmetro, em especial o comprimento de copa, o diâmetro de copa e a razão entre o diâmetro de copa e o DAP;
- A estimativa da densidade ideal em função da altura mostrou ser útil para a tomada de decisões de manejo e condução do povoamento;
- As variáveis morfométricas possuem, em sua maioria, correlação com as variáveis biométricas altura e diâmetro;
- A análise discriminante por meio do método *stepwise* mostrou sua aplicabilidade como método alternativo de classificação de sítios;
- O número de verticilos formados acima da altura de 1,30 m e a razão entre o

diâmetro e a largura de copa foram extraídas como as mais explicativas da variabilidade observada, e determina a formação de grupos.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variação observada no crescimento inicial das árvores dentro do universo estudado mostra que a espécie só se desenvolve em ritmos satisfatórios quando plantada de forma e em local adequado. Ao mesmo tempo em que existem na área alguns talhões de ótimo crescimento, em outros o ritmo de desenvolvimento inicial das árvores é lento.

Esta discrepância é bastante pronunciada em alguns casos, ainda que o material genético seja de mesma procedência e as mudas tenham sido produzidas em iguais condições e plantadas da mesma forma, ou seja, plantar a araucária em larga escala requer o conhecimento das peculiaridades que o local escolhido para o plantio apresenta, sob o risco de baixas produtividades.

Quanto à classificação de sítios pelo método tradicional, com base na evolução da altura dominante, pode-se dizer que bons resultados foram obtidos embora as curvas de sítio geradas devam ser consideradas preliminares. É bem possível que haja uma migração de classes na medida em que avança a idade do povoamento em que as árvores demandem de mais nutrientes e de um maior espaço vital.

Em relação a inclusão de variáveis morfométricas no estudo do crescimento ainda há muito a ser desenvolvido. A concepção clássica do crescimento florestal, onde a medida do tronco é a mais importante e decisiva na classificação de sítios, pode e deverá ser revista. O crescimento não só do tronco, mas de todos os componentes da árvore, atrai cada vez mais os pesquisadores, uma vez que a questão de assimilação de carbono e uso da biomassa para geração de energia tem gerado novas oportunidades para o setor florestal.

A intenção inicial de qualificar os sítios em seus aspectos edáficos não foi plenamente bem sucedida. A aplicação de uma metodologia simplificada e uma amostragem tímida não foi satisfatória para explicar a influências das características

físicas e químicas dos solos. Certamente que metodologias mais elaboradas trariam melhores resultados, como outros autores já comprovaram em trabalhos com este enfoque. O problema continua na transmissão deste conhecimento para a realidade do produtor rural, sobretudo aquele de pequeno e médio porte. Por isso testou-se um método simples, infelizmente sem muito sucesso.

A motivação para o cultivo da araucária perpassa não só os aspectos produtivos, mas carrega também o caráter ambiental. A silvicultura de uma espécie citada como em risco de extinção, símbolo de um estado, de caráter dominante na floresta e altamente benéfica para a fauna poderia representar o início de um ciclo diferenciado, onde as rotações de longo prazo devem ser consideradas. O fato de uma árvore crescer mais lentamente que suas concorrentes exóticas não deveria ser um motivo desmotivador para seu cultivo, pelo contrário. A qualidade da madeira produzida no longo prazo pode representar um preço compensatório, ainda que o retorno seja mais demorado. Portanto, plantar a araucária representa uma valorização do terreno e a melhoria direta das condições ambientais da área. Se é em longo prazo não importa, desde que se comece logo.

Há de se lembrar que nos países desenvolvidos como a Alemanha e os Estados Unidos, as rotações florestais não raro ultrapassam 60 anos e por lá pequenos e médios proprietários rurais mantém o componente florestal como elemento de valorização da terra. Por que não aqui?

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONZO. A.E.; RUIZ. J.G.; MORALES. A.J. **Crecimiento de *Araucaria angustifolia* em diferentes suelos y zonas de misiones** (Argentina). In: Problemas florestais do gênero *Araucaria*. Encontro da IUFRO. Curitiba. 1980. p. 131.
- ALVES, M. V. G.; KOEHLER, H. S.; ROSSI, MELLO FILHO, B. **Tendências e Perspectivas Para o Setor Florestal Brasileiro**. In: 2º Congresso LatinoAmericano IUFRO, 2006, La Serena - Chile. Anais 2º Congresso Latino Americano IUFRO, 2006 a.
- ALVES, M. V. G.; OLIVEIRA, R. A.; KOEHLER, H. S.; MELLO FILHO, B. **Diagnóstico do Setor Florestal no Estado do Paraná**. In: 2º Congresso LatinoAmericano IUFRO, 2006, La Serena - Chile. Anais. La Serena: Instituto Florestal do Chile, 2006 b.
- AULER. N.M.F.; dos REIS. M.S.; GUERRA. M. P.; NODARI. R.O. The genetics and conservation of *Araucaria angustifolia*: I – Genetic structure and diversity of natural populations by means of non-adaptative variation in the state of Santa Catarina. Brazil. **Genetics and molecular Biology**. 25 (3). p. 329-338. 2002.
- BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL. BRDE. Agência de Florianópolis. Gerência de Planejamento. **Cultivo da *Araucaria angustifolia*: análise de viabilidade econômico-financeira**. Florianópolis: BRDE, 2005. 53 p.
- BARTOSZECK, A. C. P. e SILVA; MACHADO, S.A.; FILHO, A.F.; OLIVEIRA, E.B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, v. 32 (1), 189-204.
- BARUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. Curitiba, 1977. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná
- BITTENCOURT, J. V. M. ; SEBBENN, Alexandre Magno . Genetic effects of forest fragmentation in high-density *Araucaria angustifolia* populations in Southern Brazil. **Tree Genetics and Genomics**, v. V, p. 690-705, 2009.
- BLUM, W. E. H. Ecologia da *Araucaria angustifolia* e futuras condições de reflorestamento no Sul do Brasil. **Brasil Madeira**, Curitiba, (7): 10-2, 1977.
- BLUM. W. E. H. Site-Nutrition-Growth interrelationship of araucarias. In: **Problemas florestais do gênero *Araucaria***. Encontro da IUFRO. Curitiba. 1980. p. 119-130.
- BOGNOLA I. A.. KOEHLER. A.. CURCIO. G. R.. FERREIRA. C.. **Levantamento pedológico semidetalhado de áreas da panagro s/a – reflorestamento e agro-**

pecuária, município de Tijucas do Sul. PR. 2003. 63 p. (Relatório técnico).

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. de. **A idade das árvores: importância e aplicação.** Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25 p.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal I.** 2. ed. Curitiba: UFPR. 1976. v. não paginado.

CARAGLIO, Y., BARTHÉLÉMY, D. **Revisão crítica dos termos relativos ao crescimento e à ramificação de vegetais vasculares.** Tradução de: Miroslava Rakocevic, Moacir José Sales Medrado e Jorge Ribasky. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 101 p. Original francês.

CARMEAN, W. H. Site index curves for upland oaks in the Central States. **For. Sci.**, v. 18, n. 2, p. 109-120, 1972.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais Brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Embrapa. CNPF. Brasília. 1994. 640 p.

CASSOL, C. A. **Relações entre as características de solo, crescimento e produtividade em povoamento implantado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo – RS.** Santa Maria. 84 p. Dissertação (Mestrado). UFSM, Santa Maria, 1982.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R.M. **A floresta com araucaria no estado do Paraná; Conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais/Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. P. 196.

CRECHI, E. H. **Efeitos da Densidade da Plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Em Misiones, Argentina.** 1996. 172 f. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G. **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais.** Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1987. 36 p.

DE HOOG, R. J.; DIETRICH, A.B. Relações de crescimento-sítio de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Em povoamentos plantados. In: **Silvicultura**, Manaus, 2 (14): 34-40, 1978. Anais do 3º Congresso Florestal Brasileiro. Amazonas.

DE HOOG, R.J. **Site-Nutrition-Growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in southern Brazil.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Albert-Ludwigs-Universität. 1981.

DE HOOGH, R. de; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 10, n. 37, p.

19-92, 1979.

DE HOOGH, R.J.; van GOOR, C.P.; Blum, W.E.H. **Response of planted *Araucaria angustifolia* to N, P, K, Ca and B fertilization. 3 and 7 years after application.** In: Problemas florestais do gênero *Araucaria*. Encontro da IUFRO. Curitiba. 1980. p. 136-144.

DIETRICH, A. B. **Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze.** 85 p. 1977. Tese (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DUQUE SILVA, L.; HIGA, A. R. Planejamento e Implantação de Pomares de Sementes de Espécies Florestais Nativas. In: Antonio Riroyei Higa; Luciana Duque Silva. (Org.). **Pomar de Sementes de Espécies Florestais Nativas.** 1 ed. Curitiba: FUPEF do Paraná, 2006, v. 1, p. 13-40.

DURLO, M. A.; DENARDI, E. Morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, 8 (1): 44-55, 1998.

DYER, M. E.; BAILEY, R. L. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. **For. Sci.**, v. 33, n. 1, p. 3-13, maio 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa, Produção da Informação, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 412 p, 1999.

EMBRAPA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ. 1988. 113 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações técnicas florestais**, Brasília, UFB, Departamento de Engenharia Florestal, v.7, n.1, 2005. ISSN 1517-1922. 43p.

ENDO, M.; MESA, G. V. Results of a pruning trial with *Pinus patula* in Colombia. **Ipef International**, Piracicaba (2): 45-49, 1992.

FABBIO, G.; FRATTEGANI, M.; MANETTI, M. C. Height estimation in stem analysis using second differences. **For. Sci.**, v. 40, p. 329-340, maio 1994.

FERNANDÉZ, R. A. **Identificação dos atributos do solo determinantes da qualidade de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze., com apoio na metodologia da análise estrutural.** 1989. 142 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, M. Z.; GUIMARÃES, M. A. M.; SCOLFORO, J. R. S. **Classificação de sítios florestais por meio de análise de tronco.** In: XXI Jornadas Forestales de Entre Rios, Concordia – Argentina, Anais.... Instituto Nacional de Tecnologia

Agropecuária, 2006. Disponível em <
<http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/>

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP/UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ- UFPR **Pesquisas em Recursos Florestais do Estado do Paraná. Regeneração do Pinheiro-do-Paraná.** Relatório Final. 1979.

FINCHER, J.; SMITH, M-L. **A discriminant-function approach to ecological site classification in Northern New England.** Warren: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1993. 14 p.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ – FUPEF; Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF. **Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil:** Relatório Final. Curitiba. 327p. 1978.

GERALDI, S.; KOEHLER, A.B.; KAUANO, E.E. Levantamento Fitossociológico de dois fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul, PR. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient**, v. 3, n. 2, p. 27-33, 2005.

GERHARDT. E.J.; FINGER. C.A.G.; LONGHI. S.J.; SCHUMACHER. M.V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze.. baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. **Ciência Florestal**. 11 (2). p. 41-57. 2001.

GOLFARI, L. Coníferas aptas para reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico IBDF**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 1-71, 1971.

GOLFARI, L; CASER, R.L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Brasília. PRODEPEF, Ministério da Agricultura. 1978. 66 p. (Série Técnica, 11).

GONÇALVES, J, L. de M. Interpretação de levantamento de solo para fins silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 65-72, ago. 1988.

GRIFFITH, M. M. The structure and growth of the shoot apex in *Araucaria*. **American Journal of Botany**, v. 39, abr. 1952.

GROSFELD, J; BARTHÉLÉMY, D.; BRION, C. **Architectural variations of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucariaceae) in its natural habitat.** In: M. H. Kurmann e A. R. Hemsley (Ed). **The Evolution of Plant Architecture.** Londres: Royal Botanic Gardens, Kew, 1999. p. 109-122.

HAIR, JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados.** Tradução Adonai Schlup Sant’Anna e Anselmo Chaves

Neto. 5. Ed, Porto Alegre: Bookman, 2005.

HALLÉ, F. Ecology and reiteration in tropical trees. In: Kurmann and A.R. Hemsley (Ed.). **The Evolution of Plant Architecture**. Londres: Royal Botanic Gardens, Kew, 1999. p. 93-107.

HALLE, F.; OLDEMAN, R.A.A.; TOMLINSON, P.B. **Tropical trees and forests**. An architectural analysis, Berlin: Springer Verlag, 1978.

HERTEL. R.J.G. **Interpretação morfológica da *Araucaria angustifolia***. Curitiba. 1980. 143 p. Tese (Professor titular). Universidade Federal do Paraná. 1980.

HOEFELICH, V. A.; GRAÇA, L. R.; CARVALHO, P. E. R. Conversão de capoeiras em povoamentos de pinheiro-do-paraná: uma avaliação econômica. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 20, p. 1-11, jun. 1990.

HOPPE. J.M.; CALDEIRA. M.V.W. Micronutrientes na copa e suas correlações com o crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze plantada em Passo Fundo. Rio Grande do Sul. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v.1, n.2, p. 21-32. 2003a.

HOPPE. J.M.; CALDEIRA. M.V.W. Correlações entre o crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. plantada na floresta nacional de Passo Fundo. RS com as características química do solo. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v.1, n.4, p. 33-40. 2003b.

HUECK. K. **As florestas da América do Sul**. Brasília; Editora da Universidade de Brasília. 1972. 466 p.

IBAMA. **Portaria 37-N. de 3 de abril de 1992: Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção**. 7 p. 1992.

INOUE, M. T. ; GALVAO, F. ; TORRES, D. V. . Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (Bert.)O. Ktze.: fotossíntese em dependência a luz no estágio juvenil. **Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 5-9, 1979.

INSTITUIÇÃO FILANTRÓPICA SERGIUS ERDELYI. **Vivat Araucaria**. Cultive esta idéia. Disponível em http://www.vivatneutracarbo.org/vivat_araucaria, acesso em 11 de novembro de 2008.

KANTOLA, A.; MÄKELÄ, A. Development of biomass proportions in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). **Trees**, v. 20, p. 111-121, 2006.

KARIUKI, M. Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. **Forestry**, v. 75, n. 1, p. 63-74, 2002.

KARKACH, A. S. Trajectories and models of individual growth. **Demographic**

Research, v.15 (12), p. 347-400, nov. 2006.

KEIL, S. S. **Propriedades físicas do solo e desenvolvimento as *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** Curitiba. 81 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KERR, G.; CAHALAN, C. A review of site factors affecting the early growth of Ash (*Fraxinus excelsior* L.). **Forest Ecology and Management**, v. 188, p. 225-234, 2004.

KING, D. A.; LEIGH, E. G. Jr.; CONDIT, R.; FOSTER, R. B., HUBBEL, S. P. Relationships between branch spacing, growth rate and light in tropical forest saplings. **Functional Ecology**, v. 11, p. 627-635, 1997.

KLEIN, R. M. Importância e fidelidade das lauráceas na “Formação de Araucaria” do Estado de Santa Catarina. **Ínsula**. Boletim do Horto Botânico. p. 1 – 19. 1974.

KLEIN, R.M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**. 12. p. 17-44. 1960.

KOCH, G. W.; SILLET, S. C.; JENNINGS, G. M. The limits to tree height. **Nature**, v. 428, p. 851-854, abril 2004.

KOEHLER, A. B.; PÉLLICO NETTO, S.; SANQUETTA, C. R. Análise da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista semi-devastada, Fazenda Gralha Azul, Região Metropolitana de Curitiba. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient** Curitiba, v. 1, p. 37-60, 1998.

KOEHLER, A. **Floresta Ombrófila Densa Altomontana: Aspectos florísticos e estruturais do componente arbóreo em diferentes trechos da serra do mar, PR.** Curitiba, 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOEHLER, H. S.; ALVES, M. V. G.; OLIVEIRA, R. A. de. **Diagnóstico do Setor Florestal no Estado do Paraná.** In: 2º Congresso LatinoAmericano IUFRO, 2006, La Serena - Chile. Anais do 2º Congresso LatinoAmericano IUFRO, 2006.

KOSCINSKI, M. E. **O pinheiro brasileiro na silvicultura paulista.** São Paulo: Secretaria da Agricultura Indústria e Comércio do Estado, 1934. 56 p.

LAPPI, J. Smooth height/age curves from stem analysis with linear programming. **Silva Fenica**, v. 40, n.2, p. 291-301, 2006.

LARSON, P. R. Stem form development of forest trees. **Forest Science Monograph**, v. 5, 1963. 42 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, p. 301-310, 2003.

- LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no Sul do Brasil**. Curitiba: UFPR, 1980, 198 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1980.
- LONGHI, S. J.; ARAÚJO, M. M.; BRENA, D. A. Estudo de dinâmica de Floresta Ombrófila Mista realizados em parcelas permanentes pela UFSM. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Org.). **Experiências de monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 281-320.
- LUSK, C. H.; FALSTER, D. S.; PÉREZ-MILLAQUEO, M.; SALDAÑA, A. Ontogenetic variation in light interception, self-shading and biomass distribution of seedlings of the conifer *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. **Rev. Chil. Hist. Nat.**, Santiago, v. 79, p. 321-328, 2006.
- LUSK, C. H.; LE-QUESNE, C. Los verticilos de juveniles de *Araucaria araucana* (Molina) Koch: ¿son formados anualmente? **Rev. Chil. Hist. Nat.**, set. 2000, vol.73, no.3, p.497-501.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Livraria José Olympio. Curitiba. 1968. 442 p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ª Edição. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.
- MACHADO, S.A.; SIQUEIRA, J.D.P. **Distribuição natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. In: Encontro da IUFRO. Problemas florestais do gênero *Araucaria*. Curitiba, FUPEF, 1980. p. 4-9.
- MARTINS, F. Professor defende corte de araucárias. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 14 de março de 2000, p. 4.
- MATTOS, J. R. ARAUCARIACEAE do Rio Grande do Sul. **Roessléria**, Porto Alegre, 7 (4): 17-37, 1985.
- MELO FILHO, B.; PÉLLICO NETTO, S.; ZANETI, I. C. B. B. Vivat Floresta Sistemas Ecológicos – Turismo Sustentável em Tijucas do Sul, PR. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 281-292, abr./jun. 2008.
- MIRANDA, Eduardo Evaristo de. A invenção do Brasil. **National Geographic Brasil**. São Paulo, p. 60-71, mai. 2007.
- MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S.F.B.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular micorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Mycorrhiza**, v. 13, 2003, p. 211-215.
- MOREY, P. R. **O crescimento das árvores**. Tradução de: Maria de Fátima Domingos Aleixo Pereira. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1980. 72 p.

Original inglês.

NEWBERRY, J. D. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. **For. Sci.**, v. 37, n. 1, p. 368-369, 1991.

NOGUEIRA, A.C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em florestas naturais que sofreram corte seletivo.** Curitiba. PR.. 1989. 107 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. 1989.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**. Santa Maria, 11 (2): 9-25, 2001.

NUTTO, L. Wachstunspotenziale einheimischer Baumarten am Beispiel der Araukarie. **AFZ/DerWald**, Stuttgart, v. 17, p.899-901, 2000.

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Floresta**, Curitiba, 33(3), 295-309, 2003.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil.** Porto Alegre, RS. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, J. M.; SANTAROSA, E.; ROIG, F.A.; DEPATTA PILAR, V. Amostragem Temporal de Anéis de Crescimento: Uma Alternativa para Determinar Ritmo de Atividade Cambial. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl 1, p. 615-617, jul. 2007.

OLIVER, C. D.; LARSON, B. C. **Forest Stand Dynamics.** Uptade Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1996.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas para *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, abr./jun. 2008.

OSADA, N.; TAKEDA, H. Branch architecture, light interception and crown development in saplings of plagiotropically branching tropical tree, *Polyalthia jenkinsii* (Annonaceae). **Annals of Botany**, v. 91, p. 55-63, 2003.

pdf/2006/posters06/297.Ferreira_Completo.pdf>. Acesso em 02/12/2008.

PÉLLICO NETTO. S.; BRENA. D.A. **Inventário Florestal.** Curitiba: Editado pelos autores. 1997. 316 p.

PÉLLICO, S. P.; CORAIOLA, M.; WEBER, S. H. Rede de parcelas permanentes localizadas na Floresta Ombrófila Mista e na Floresta Estacional Semidecidual

integrantes do PELD Sítio 9, sob a responsabilidade da PUCPR. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Org.). **Experiências de monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 211-244.

PELLICO-NETTO, S. Densidade de uma floresta em função da variável altura. **Acta Forestalia Brasiliensis**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 01-08, jun. 1986.

PLOURDE, A.; KRAUSE, C. Development and growth of the aerial part of *Pinus banksiana* Lamb. from natural and planted stands. In: 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, 2004, Montpellier. **Anais...Montpellier**: C Godin et al., 2004. P. 17-21.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York, John Wiley, 1979. 500 p.

PUCPR/IFSE. **Vivat Floresta Sistemas Ecológicos**. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat. 2003. 63 p.

REITZ, R.; KLEIN, R.M. **Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues. 1966. 29 p.

ROBINSON, D. F. Three gradients in the architecture of trees. **Ann. For. Sci.** v.57, p. 439-444, 2000.

ROSOT, M. A. D. **Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco**. Curitiba, 2002. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SANQUETTA, C. R. Estudos ecológicos de longa duração: exemplo de aplicação para a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Org.). **Experiências de monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 1-46.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. Recuperação e manejo das Florestas de Araucária NO Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E., com colaboração de Ana Paula Dallacorte et al. (Ed.). **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: *Multi-Graphic* Gráfica e Editora, 2006. p. 115-170.

SANTAROSA, E.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; DEPATTA PILLAR, V. Crescimento Sazonal em *Araucaria angustifolia*: Evidências Anatômicas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl 1, p. 618-620, jul. 2007.

SANTOS, A. J. dos; CORSO, N. M.; MARTINS, G.; BITTENCOURT, E. Aspectos produtivos e comerciais do pinhão do Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 163-169, 2002.

SANTOS, A. J. dos; MULLER, A. Produtos não madeireiros e serviços da Floresta de Araucária. In: SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E., com colaboração de Ana Paula Dallacorte et al. (Ed.). **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2006. p. 235-263.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de araucária angustifolia (Bert.) O. Ktze**. Curitiba, 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.. 2006.

SCHEEREN. L.W.; FINGER. C.A.G.; SCHUMACHER. M.V.; LONGHI. S.J. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em três sítios naturais. na região de Canela. RS. **Ciência Florestal**. Santa Maria. 9 (2): 23-40, 1999.

SEITZ, R. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: **Crown and Canopy structure in relation to productivity**, 1986. Proceedings. Ibaraki Forestry and Forest Products Research Institute, 1986. 129-146.

SEITZ. R. Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern. **Annales de Sciences Forestières**. 43: p. 327-338. 1986.

SEITZ. R.A.; KANNINEN. M. Dendrochronology of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil: Preliminary results. **Revista Floresta**. 18 (1 e 2). p. 55-61. 1988.

SEITZ. R.A.; KANNINEN. M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. Preliminary results. **Iawa Bulletin**. 10 (2). 1989: 170-174.

SEMA. **Lista Vermelha de espécies ameaçadas de extinção no estado do Paraná**. Curitiba: SEMA/GTZ. 1995. 139 p.

SHIMIZU, J.; HIGA, A. R. **Varição Genética entre procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região de Itapeva-SP, estimada até o 6º ano de idade**. In: Problemas florestais do gênero *Araucaria*. Encontro da IUFRO. Curitiba. 1980. p. 78-82.

SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 43, p. 61-74, jul./dez. 2001.

SPATHELF. P; SCHEEREN. L.W. Relações entre a variação no incremento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* e os elementos meteorológicos na região de canela. RS. Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria. 7 (2):

227-233. 1999.

SZYMURA, T. H. Silver fir sapling bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality. **Forest Ecology and Management**, v. 212, p. 101-108, 2005.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia de copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.

VAN GOOR, C. P. Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliottii* eng. var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, (4): 349-366, 1966.

VARTY, N.; GUADAGNIN, D.L. ***Araucaria angustifolia***. In: IUCN 2003. 2003 IUCN Red List of Threatened Species. Disponível em <www.redlist.org>. Acessado em 21 de outubro de 2004.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A. L. & LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. IBGE. Rio de Janeiro. 1991. 123 p.

WACHTEL, G. **Untersuchungen zur struktur und dynamic eines Araukarien-Naturwaldes in Südbrasilien**. 1990. 181 f. Dissertação (Doutorado). Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

WEBER, S. H. **Desenvolvimento de uma nova função de densidade probabilística para avaliação da regeneração natural**. Curitiba, 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WEHR, N. J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, v. 58, p. 161-170, dez. 2000.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; SOUZA, P. V. D. de. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, p. 245-255, 2004.