

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

YURI ACCIOLY

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MODELAGEM DO CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE
Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze

CURITIBA

2015

YURI ACCIOLY

MODELAGEM DO CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE
Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador de Estágio: Prof. MSc. Décio José de Figueiredo

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Maria Emilia Schwarz Accioly e Julio Cesar Accioly pela criação fantástica que me deram, sendo responsáveis pelos meus ensinamentos fundamentais da vida, apoio incondicional e tudo que eu sei.

Aos meus irmãos Alexander Accioly e Pyramon Accioly por sempre estarem ao meu lado, seja cobrando ou incentivando, pelo conhecimento compartilhado e por servirem de inspiração como Engenheiros Florestais e seres humanos.

Aos meus colegas de graduação Alexandre Braghini, Felipe Schumacher Sant'Anna, Luiz Schimitka Neto e Marcel Jagnow pelos muitos momentos de descontração, dividindo todos os desafios de cada etapa comigo, inúmeros trabalhos realizados juntos e pela eterna amizade.

Ao meu orientador Prof. MSc. Décio José de Figueiredo pela disponibilidade em me orientar e ajudar a qualquer hora e em qualquer lugar, destacando sua árdua dedicação em ensinar entre um café e outro, sendo um grande exemplo de comprometimento e atuação profissional.

Ao Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado por esses anos de paciência e confiança como meu orientador de Iniciação Científica, despertando meu senso crítico estando sempre aberto ao diálogo e diariamente me ensinando a crescer como jovem cientista.

Aos amigos da Família Dendrometria: Angelo Alberto Pacheco dos Santos, Luis César Rodrigues da Silva, Rodrigo Geroni Mendes Nascimento, Ronan Felipe de Souza, Bruno Henrique Czelusniak e Naiara Teodoro Zamin. Por sempre estarem disponíveis para ajudar em diversos temas, pelo alto astral e motivação passada nesses anos que tive o prazer de fazer parte dessa família.

RESUMO

O crescimento de uma árvore é o aumento gradual de suas dimensões em certo período de tempo, já a produção é o crescimento acumulado dessa árvore em uma determinada idade. Este trabalho tem como objetivo analisar o crescimento e a produção das variáveis dendrométricas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em diferentes classe de sítio. Os pinheiros utilizados na presente pesquisa provieram de um plantio de 24 anos de idade localizados em Quedas do Iguaçu, Paraná na empresa Araupel. As árvores foram derrubadas e retiradas seções transversais a diferentes alturas, sendo submetidas ao método de análise de tronco completa (ANATRO) por meio da contagem e medição dos anéis visando obter a altura, diâmetro, área transversal e volume em diferentes idades. Foram ajustados modelos matemáticos para estimar o crescimento e a produção das variáveis dendrométricas, sendo escolhidos aqueles que apresentaram maiores coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) e menores erros ($S_{yx\%}$). Os indivíduos foram separados em duas classes de produtividade e os modelos que se apresentaram mais acurados para a estimativa das variáveis nessas classes e para o geral foram Chapman-Richards, para altura, área transversal e volume; e Prodan para o diâmetro à altura do peito. Pelas curvas de crescimento observa-se que o povoamento já atingiu o seu valor de máxima produtividade biológica para todas as variáveis estudadas, exceto volume e, que os valores de máximo ICA e de IMA obtidos foram semelhantes, indicando que não houve diferenciação entre as classes de sítio.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1	<i>ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA</i>	10
3.2	SÍTIOS FLORESTAIS	11
3.3	CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	12
3.4	ANÁLISE DE TRONCO	14
3.5	MODELAGEM	14
4	MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1	ORIGEM DOS DADOS	16
4.2	ANÁLISE DE TRONCO	16
4.3	AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO	19
4.4	DIFERENÇA EM PRODUÇÃO DE VOLUME PARA AS CLASSES DE SÍTIO	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÕES	38
7	AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR	39
8	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze é uma espécie arbórea de grande porte nativa do Brasil e que possui ampla área de distribuição, tendo maior ocorrência no sul do país onde é conhecida como Pinheiro-do-Paraná. Com o começo da exploração de sua madeira de altíssima qualidade no final do século XIX bem como com o aumento das áreas de pecuária e agricultura, a área de ocorrência natural da araucária foi reduzida drasticamente, sendo encontrada atualmente em áreas fragmentadas de Floresta Ombrófila Mista em sua forma secundária, proveniente da regeneração natural ocorrida após a exploração da floresta intocada (ZANON *et al.*, 2009).

O crescimento de uma árvore se dá a partir da atividade dos meristemas primário e secundário (câmbio), que atuam no aumento em altura e em diâmetro respectivamente (HUSCH *et al.*, 1982). Oriundos da atividade cambial da árvore surgem os anéis de crescimento, que em zonas de clima temperado normalmente representam o incremento anual da árvore (RICHTER & BURGER, 1978).

Por meio da análise de tronco completa (ANATRO) é possível reconstituir todo o crescimento do indivíduo ou do povoamento a partir da contagem e medição dos anéis de crescimento, obtendo relações entre as variáveis de interesse e a idade, bem como as taxas médias de incremento dessas variáveis. O estudo do crescimento, produção e o entendimento deste processo na floresta são ferramentas básicas para um posterior planejamento de manejo florestal (PRODAN, 1997).

O crescimento varia em função de uma série de fatores internos e externos da planta, dentre eles se destacam a capacidade genética da espécie, a idade, a densidade e o sítio. Qualidade de sítio é a soma total dos fatores edáficos, biológicos e climáticos que afetam o crescimento das plantas (SPURR, 1952), sendo o acompanhamento do crescimento de uma espécie indissociável do estudo em conjunto do sítio em que a mesma se encontra.

A legislação florestal atual é restritiva quanto ao aproveitamento das araucárias, sendo seu corte proibido pela lei nº 4.631, de 2001, acarretando em uma falta de interesse dos proprietários rurais com a espécie. Com isso são

poucos os estudos relacionados ao seu crescimento quando comparados com espécies de maior crescimento e rusticidade como pinus e eucalipto.

O objetivo deste trabalho foi modelar o crescimento em diâmetro, altura, área transversal e volume em função da idade por meio da ANATRO em diferentes classes de produtividade, baseada na classificação de sítios proposta por Hoogh *et al.* (1978) para o Pinheiro-do-Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o crescimento e produção por classe de sítio de 30 indivíduos de *Araucaria angustifolia* em um plantio equiâneo em Quedas do Iguaçu – PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Classificar os indivíduos em diferentes classes de sítio;

Modelar o crescimento acumulado em altura, diâmetro, área transversal e volume ao longo dos 24 anos de idade;

Gerar curvas de crescimento e produção ajustadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*

A *Araucaria angustifolia* pertence à família Araucariaceae, sendo conhecida por pinheiro-do-paraná, pinho, pinheiro brasileiro, entre outros. Ocorre de forma natural no Brasil e em pequenas manchas no extremo nordeste da Argentina, na província de Misiones e no leste do Paraguai, no Departamento de Alto Paraná, em altitudes de 500 a 2.300 m de altitude, sendo encontrada, preferencialmente, em cotas altitudinais que variam de 500 a 1.800 m (CARVALHO, 1994). O clima na área de ocorrência natural da araucária é classificado como temperado, onde a temperatura média anual varia de 13 a 18 °C, caracterizado por verões frescos e invernos relativamente frios, com temperaturas de até 8 °C negativos, com ocorrência de geadas (GOLFARI, 1967).

É uma planta dióica, onde os adultos possuem altura variando de 20 a 50 metros e tronco retilíneo de 90 a 180 cm de diâmetro. A árvore jovem tem forma piramidal bem diferente da adulta, em forma de taça (LORENZI, 1992). É a principal espécie da Floresta Ombrófila Mista, onde domina o dossel formando o extrato superior fornecendo condições para outros vegetais importantes se estabelecerem, como as lauráceas (imbuia, canelas), leguminosas (jacarandá, caviúna e monjoleiro), mirtáceas (guabiroba, pitanga), erva-mate e o pinheiro-bravo (CARVALHO, 1994).

Apesar de ocupar extensas áreas, a sua exploração indiscriminada colocou-a na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (BRASIL, 1992). Dos 20 milhões de hectares originalmente cobertos pela Floresta de Araucária, restam, atualmente, cerca de 2% dessa área. Particularmente no Estado do Paraná, as serrarias e o uso industrial da espécie foram os principais responsáveis pelo desmatamento em busca de sua madeira de boa qualidade (GUBERT FILHO, 1990), sendo a década de 1960 o auge dessa expansão madeireira.

O menor crescimento da espécie decorre principalmente de sua exigência quanto aos aspectos físicos, morfológicos e químicos do solo. Em sítios de boa

qualidade, pode apresentar incrementos que, associado à qualidade da madeira e a aspectos ambientais, viabilizem seu emprego em reflorestamentos com fins comerciais. Assim, é imprescindível que seu cultivo seja feito em sítios propícios, buscando obter povoamentos ecologicamente estáveis e produtivos, tornando-os atrativos comercialmente (GERHARDT *et al.*, 2001).

3.2 SÍTIOS FLORESTAIS

O termo sítio é amplamente utilizado no meio florestal como sinônimo da produtividade de uma espécie em um determinado local. A qualidade de um sítio se define como a capacidade de uma área determinada em promover o crescimento de árvores. Como qualidade de sítio, Prodan *et al.* (1997) comentam que se trata da resposta, o desenvolvimento de uma determinada espécie, a totalidade das condições ambientais (edáficas, climáticas e bióticas) existentes em um determinado lugar.

Husch *et al.* (1982), quando comentaram e definiram qualidade de sítio, afirmaram que ela expressa a produtividade média que uma determinada área apresenta no crescimento de árvores. Para Gomes *et al.* (1957) a qualidade do sítio refere-se à combinação de todos os fatores biológicos e ambientais que afetam o crescimento das árvores.

Inúmeras variáveis dendrométricas já foram utilizadas para classificação de sítios florestais: Volume/ha foi abandonada devido a dificuldade em sua obtenção; Área Basal/ha é fortemente afetada pela densidade; altura média das árvores foi abandonada por se levar muito tempo para ser obtida; altura dominante é utilizada pois é de fácil acesso, obtida de forma mais acurada, pouco ou quase nada afetada pela densidade e fortemente correlacionada com V/ha. Por convenção, a altura dominante alcançada em uma determinada idade, recomendada próximo à idade de rotação, é tida como "idade chave, índice ou de referência", sendo denominada de índice de sítio (SELLE, 1993).

A identificação da curva da altura sobre a idade, referenciada à altura na idade índice, define os índices de produtividade. Da mesma forma, a relação altura/idade poderia ser identificada por números romanos (I, II, III,

respectivamente, indicando do melhor ao pior sítio), dando origem às classes de sítio ou de produtividade (BURGER, 1976).

Hoogh *et al.*(1978) construíram curvas de sítio para povoamentos artificiais de *A. angustifolia* utilizando dados de parcelas temporárias e permanentes de todos os Estados do Sul do Brasil, São Paulo e Minas Gerais, cobrindo toda a amplitude de variação de sítios e idades. Em um primeiro estágio o autor utilizou a equação de Prodan gerando curvas monomórficas de índice de sítio, e um segundo estágio, a equação proposta por Hradetzky, o que resultou em curvas polimórficas de índice de sítio.

3.3 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

A camada do anel de crescimento anual consiste em duas zonas: uma clara que determina o início do período vegetativo denominada de lenho primaveril, onde o crescimento da árvore é intensificado; e outra mais densa e escura denominada de lenho outonal com crescimento menor, onde o fim do período vegetativo é caracterizado por um final abrupto do lenho outonal (GOMES, 1957).

A curva típica de crescimento acumulado (produção) em função da idade de qualquer variável mensurável em uma árvore segue as leis naturais de crescimento comum a todos os processos biológicos, ou seja, apresenta uma forma sigmoideal ou em "S", onde se distinguem três períodos ou fases de crescimento: juvenil, fase de crescimento lento inicial seguida de aceleração, desde a germinação até o estabelecimento da planta; de maturidade, fase de pleno vigor da planta, onde ocorre a taxa de crescimento máximo; e de senescência, onde ocorre uma desaceleração rápida do crescimento rumo a um valor assintótico (HUSCH *et al.*, 1982; SPURR, 1952). O ritmo de crescimento é influenciado por fatores internos da espécie (fisiológicos), fatores externos (ecológicos) e a idade (ENCINAS, J. I. *et al.*, 2005).

Segundo Prodan *et al.* (1997) pode-se diferenciar vários tipos de crescimento, de acordo com o período de tempo determinado. Dentre eles estão o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA). As curvas que

caracterizam essas taxas possuem formas semelhantes e estão diretamente correlacionadas com a curva de produção (Figura 1).

Pode-se perceber que o valor de máximo ICA coincide com o ponto de inflexão da curva de produção. Além disso, no momento em que as curvas de ICA e IMA se cruzam, onde o ICA torna-se igual ao IMA tem-se o valor máximo de IMA e também o ponto de máxima tangência na curva de produção, sendo que a partir deste a produção da árvore tende ao valor assintótico (ASSMANN, 1970; PRODAN *et al.*, 1997; ZAMIN, 2013).

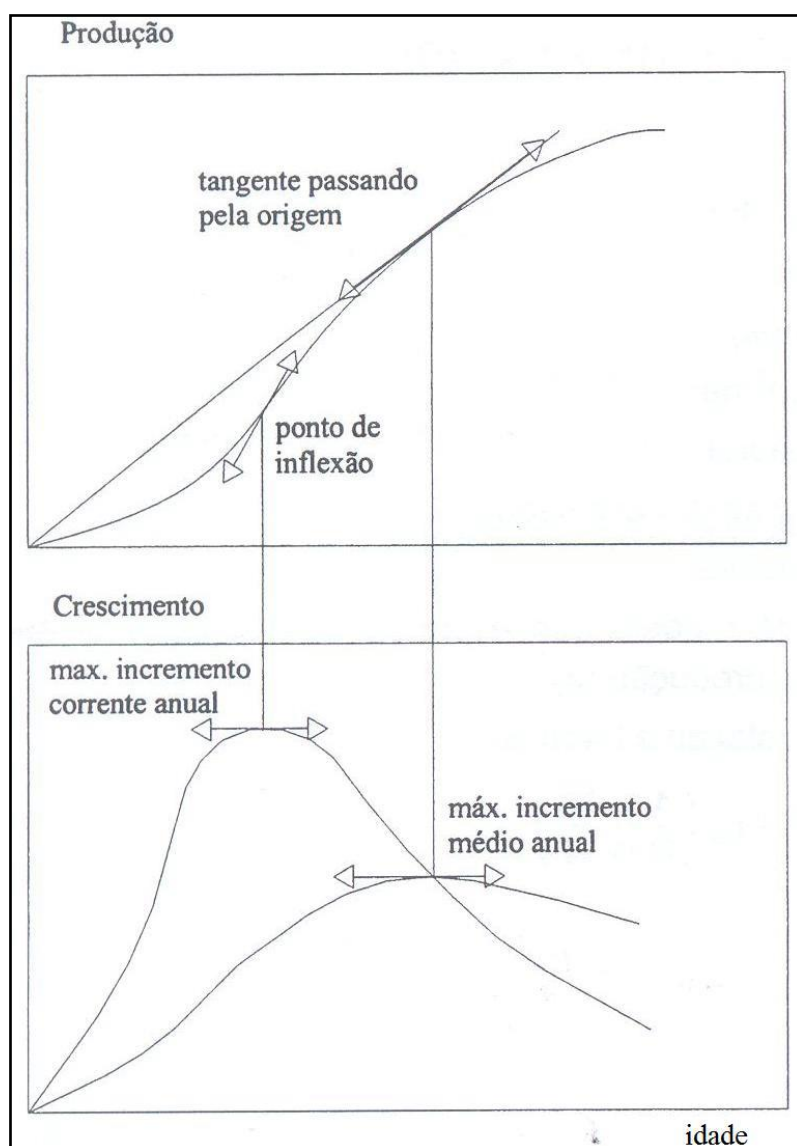


Figura 1. Relações entre as curvas de crescimento e produção. Fonte: SCOLFORO, 2006.

Vários modelos empíricos e biológicos vêm sendo utilizados no setor florestal para representar a estimativa do crescimento e da produção presente e futura de árvores e povoamentos florestais, dentre eles pode-se citar os modelos de Chapman-Richards e Prodan (ZAMIN, 2013).

3.4 ANÁLISE DE TRONCO

A metodologia mais precisa para avaliar conjuntamente a idade e o crescimento de uma árvore quando não se conhece a data de plantio da mesma é a contagem e medição dos anéis de crescimento (KOEHLER, 2009). A análise de tronco é uma técnica que possibilita o registro do crescimento passado de uma árvore através da medição dos seus anéis de crescimento (HUSCH *et al.*, 1982).

A ANATRO pode ser completa ou parcial. A análise completa consiste na derrubada da árvore e retirada de seções transversais ao longo do tronco, sendo assim um método destrutivo. A análise parcial consiste na retirada de rolos de incrementos da árvore em pé (FINGER, 1992).

Segundo Finger (1992), o método consiste na análise de seções transversais retiradas do longo tronco de uma árvore, determinando seu crescimento e qualidade em diferentes períodos de sua vida. Conforme Encinas *et al.* (2005), uma das vantagens do método consiste em permitir o estudo do crescimento da árvore com resultados imediatos, pois em qualquer época pode-se reconstituir plenamente o desenvolvimento de uma árvore em termos de crescimentos passados, desde sua fase jovem até a idade da análise. Esta análise consiste em avaliar os crescimentos em volume, em área basal, em diâmetro e em altura, bem como sua forma.

3.5 MODELAGEM

A estimativa do crescimento e da produção presente e futura de árvores e povoamentos florestais é uma etapa essencial para viabilizar o planejamento da atividade florestal (PRODAN *et al.*, 1997). Neste contexto, a modelagem da relação biológica entre crescimento e produção é uma ferramenta muito útil, ressaltando a

necessidade de se obter relações cada vez mais eficientes na representação da realidade (SCOLFORO, 1998).

Campos e Leite (2006) afirmaram que modelos com relações funcionais $Y = f(I)$ possuem aplicação limitadas, porém quando aplicados em populações homogêneas e de pequenas áreas apresentam resultados satisfatórios. Além disso, Scolforo (2006) afirmou que apesar da estimativa dos parâmetros desses modelos se dar pelo ajuste não-linear, eles possuem grande potencial e eficiência em suas estimativas.

Vários modelos biológicos vêm sendo utilizados no setor florestal ao longo dos anos, dentre eles pode-se citar os modelos de Chapman-Richards, Gompertz e Logística. Turnbull (1963) foi o primeiro a aplicar os modelos biológicos no âmbito florestal. Segundo esse autor as formas matemáticas das funções utilizadas em florestas convencionais até então eram empíricas, visto que a base dessas funções – linear, parabólica, etc. – é algébrica ou geométrica, não tendo relação imediata com o crescimento biológico.

O modelo de Chapman-Richards possui as características adequadas para o ajuste do crescimento de qualquer variável biológica, descrevendo o início de crescimento na origem, acelerado ritmo inicial de crescimento, um ponto de inflexão e a partir deste o ritmo de crescimento decresce e, finalmente, tende a um valor assintótico (TEMPS, 2005; ZAMIN, 2013).

O modelo de produção e crescimento de Gompertz teve como primeira aplicação a descrição da distribuição de idades da população humana. Contudo em 1978 esse modelo foi aplicado em um estudo com três espécies de árvores, demonstrando flexibilidade suficiente para justificar seu uso (ZEIDE, 1993; ZAMIN, 2013).

A equação Logística é largamente utilizada em estudos ecológicos, isto se deve a características tais como, o ponto de inflexão da equação corresponder à metade do tamanho final da curva e do crescimento relativo da equação decrescer linearmente com o tamanho (ZEIDE, 1993; ZAMIN, 2013).

O modelo de Prodan (1968) tem sido muito utilizado por pesquisadores florestais em várias partes do mundo por dois fatores: a simplicidade de obtenção dos coeficientes e uso destes para as estimativas das variáveis de interesse; e a precisão que o modelo oferece (TONINI *et. al.*, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ORIGEM DOS DADOS

Os dados provieram de um plantio equiâneo de 24 anos de idade com espaçamento de 4 m x 4 m, sem desbastes, situado em Quedas do Iguaçu na empresa Araupel a aproximadamente 630 m de altitude. O clima da região é subtropical úmido com temperatura média anual de 18,2°C e pluviosidade média de 1784 mm no ano. A precipitação do mês de maio, mês mais seco, é de 97 mm. A maioria da precipitação ocorre em outubro, com uma média de 216 mm. No mês de janeiro, mês mais quente do ano, a temperatura média é de 22,3 °C. A temperatura média em julho, é de 13,6 °C sendo o mês mais frio do ano (EMBRAPA, 2003). Portanto se enquadra como clima Cfa segundo classificação de Köppen e Geiger.

4.2 ANÁLISE DE TRONCO

Foram medidos os diâmetros a 1,3 m do solo (DAP) com casca e derrubadas 30 árvores em três diferentes níveis de altitude na área de plantio da empresa Araupel, 10 situadas na parte mais baixa, 10 na encosta e 10 na parte mais alta, sendo escolhidas 3 árvores finas, 4 médias e 3 grossas em cada uma das localidades, cobrindo assim toda a amplitude diamétrica encontrada.

Posteriormente foram tomadas as alturas totais e retiradas seções transversais ao longo do fuste de todos os indivíduos. As fatias foram marcadas e acondicionadas em embalagens aeradas para se evitar o desenvolvimento de fungos. Passaram pelo processo de secagem e duas fases de lixamento (Figura 2) para melhorar a visualização e medição dos anéis de crescimento, a primeira com lixa mais grossa de granulometria 36 e a segunda mais fina, de granulometria 80.

Posteriormente foram realizadas a contagem e medição dos anéis de crescimento seguindo o método utilizado por Rosot (2002), identificando o maior raio, o qual foi traçado e prolongando-o até obter o primeiro diâmetro. Em seguida

mais dois raios perpendiculares a este e passando pela medula foram marcados, tentando com isto garantir a melhor representatividade possível da área transversal em cada uma das fatias e conseqüentemente de cada ano, evitando-se também, qualquer tipo de tendenciosidade. Desta maneira, foram obtidos quatro raios em cada disco, nos quais foram feitas pequenas marcações ao término de cada um dos anéis de crescimento anual a fim de facilitar sua identificação no momento da medição.



Figura 2. Fase de lixamento das seções transversais.

A medição foi inteiramente efetuada no equipamento LINTAB (Figura 3), que consiste numa plataforma com mesa móvel onde é colocada a fatia, além de uma pequena manivela usada para movimentar a mesa. Com o auxílio de uma lupa, o operador determina o limite dos anéis ao longo do raio selecionado, sendo que o deslocamento da plataforma que contém o disco equivale à largura do anel. Esse valor é automaticamente registrado e armazenado para cálculos posteriores (SANTOS, 2006).

A média dos quatro raios medidos em cada anel da fatia é assumida como raio representativo do anel em questão, que depois é multiplicado por dois para obtenção do diâmetro. Tal metodologia vem sendo adotada na maioria dos trabalhos de análise de tronco (FINGER, 1992; MACHADO *et al*, 2010). A partir

das medidas obtidas dos anéis de crescimento anuais, é possível a reconstituição completa do crescimento da árvore em todas suas variáveis medíveis, altura, diâmetro, área transversal e volume, bem como sua forma.



Figura 3. LINTAB. Fonte: <http://www.worldagroforestry.org/>.

Para a obtenção da altura a diferentes idades utiliza-se o método trigonométrico (Figura 4), onde se considera que o término do anel se dá de acordo com o ângulo de saída da última fatia onde aparece e é igual ao ângulo imediatamente posterior (mais externo, da medula para fora) (HUSCH et al., 1982).

A altura total da árvore na idade correspondente ao anel é obtida somando-se a altura de tomada da fatia inferior à altura estimada do término do anel. Com a medição dos raios é possível calcular o diâmetro e área transversal, com posse das áreas transversais das seções e a distância entre as mesmas é possível obter volumes a diferentes idades pelo método de Smalian.

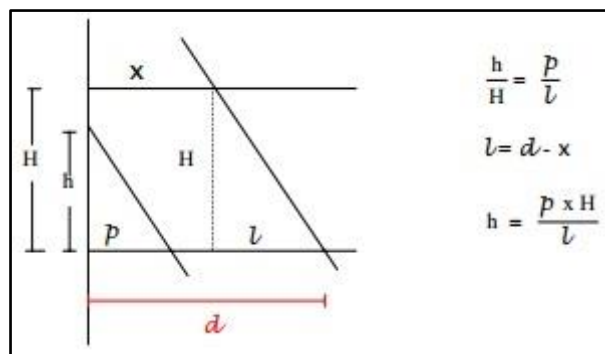


Figura 4. Representação do método trigonométrico para obtenção da altura a partir da interpolação do término do anel de crescimento. Fonte: Rosot, 2002.

Em que H é o comprimento da seção, h é a altura do término do anel, d é o comprimento do penúltimo raio da fatia inferior, p é o comprimento do último raio da fatia inferior e x é o comprimento do último raio da fatia superior.

4.3 AJUSTES DOS MODELOS DE CRESCIMENTO

Os sítios foram classificados a partir das curvas ajustadas por Hoogh *et al.* (1978) na idade de referência 24 anos. Para determinação das alturas dominantes foi realizada a média das alturas das três árvores mais grossas de cada uma das três localidades. Em seguida foram ajustados os modelos biológicos de Chapman-Richards, Gompertz e Logístico, bem como o modelo empírico de Prodan (Tabela 1) para estimar a produção das variáveis dendrométricas por classe de sítio e no geral. O ajuste se deu a partir do método de regressão não linear, minimizando os quadrados dos resíduos por meio do SOLVER, aplicativo do software *Microsoft Excel*.

Em que Y representa o DAP (cm), altura (m), área transversal (m^2) ou volume (m^3) da árvore, todos sem casca; I é a idade (anos) variando entre 0 e 24; a , b e c são os parâmetros a serem estimados; e indica a constante de Euler (2,7183).

Os modelos foram escolhidos por serem amplamente utilizados na área florestal, já tendo sua eficiência e precisão comprovados em diversos trabalhos (ZEIDE, 1993; TONINI *et al.*, 2002; TEMPS, 2005; ZAMIN, 2013).

Tabela 1. Modelos biológicos e empírico testados para os ajustes.

Nº	Modelo	Autor
1	$Y = a(1 - e^{-bl})^c$	Chapman-Richards
2	$Y = a(e^{-be^{-cl}})$	Gompertz
3	$Y = a/(1 + be^{-cl})$	Logístico
4	$Y = \frac{I^2}{(a + bI + cI^2)}$	Prodan

A seleção do modelo mais eficiente para cada variável foi baseada no coeficiente de determinação ajustado e corrigido (R^2_{aj}) no erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx\%}$) e na análise gráfica dos resíduos, que permite detectar a presença de tendências em superestimar ou subestimar a variável dependente, sendo assim determinante na escolha do modelo.

$$S_{xy} = \sqrt{QM_{res}}$$

$$S_{xy\%} = \frac{S_{xy}}{\bar{Y}} * 100$$

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} * \frac{SQ_{residuo}}{SQ_{total}} \right)$$

Em que: S_{xy} é o erro padrão da estimativa; $S_{xy\%}$ é o erro padrão da estimativa em porcentagem; \bar{Y} é a média aritmética da variável dependente; QM_{res} é o quadrado médio do resíduo; n é o número de observações; p é o número de coeficientes; $SQ_{residuo}$ é a soma de quadrados dos resíduos e SQ_{total} é a soma de quadrados totais.

Para a análise do crescimento e produção, foram desenvolvidas as curvas de produção e crescimento para todas as variáveis a partir do modelo de melhor ajuste, a fim de comparar a variação no comportamento do crescimento por classe de sítio e para o geral.

4.4 DIFERENÇA EM PRODUÇÃO DE VOLUME PARA AS CLASSES DE SÍTIO

Após executada a ANATRO completa foi possível estabelecer a situação em que a amostra encontrava-se para todas as idades, em termos de diâmetro, altura, área transversal e volume.

Evidentemente, era importante analisar as condições das diferentes classes de sítio a fim de verificar se estatisticamente as mesmas eram iguais. Nesse sentido, o teste "t" de Student para amostras não pareadas foi empregado uma vez que pretendia-se testar diferenças entre duas médias apenas.

Assim sendo, esse teste foi aplicado em todas as idades para a variável volume com intuito de verificar se existe diferença entre as classes de sítio.

O teste t determina se duas amostras podem ser provenientes de duas populações que possuem a mesma média.

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{S_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}}$$

Sendo t o valor calculado a ser comparado com o valor tabelado; \bar{Y}_1 e \bar{Y}_2 as média dos volumes reais das árvores em cada idade; $S_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}$ representa a variância combinada entre as duas amostras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas básicas de dispersão dos diâmetros, alturas, áreas transversais e volumes das araucárias aos 24 anos de idade podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatísticas descritivas das 30 araucárias.

Características	Ht (m)	DAP (cm)	g (m²)	v (m³)
Mínimo	15,90	17,1	0,02298	0,2339
Máximo	23,30	44,0	0,15205	1,9358
Média	19,42	27,5	0,06316	0,7314
Desvio Padrão	2,04	6,9	0,03234	0,4201
CV%	10,5	25,1	51,2	57,4

Em que Ht corresponde a altura total da árvore; DAP é o diâmetro sem casca à altura do peito; g é a área transversal sem casca; v é o volume sem casca; CV% = coeficiente de variação.

Observa-se na Tabela 2 que o volume é a variável que apresenta maior dispersão em relação a média (CV%) e a altura total a menor. Esse grande coeficiente de variação encontrado para o volume e área transversal podem ser atribuídos a grande variabilidade diamétrica estudada aos 24 anos de idade.

Hess (2006), ao estudar as inter-relações no crescimento da araucária na Serra do Sudeste, ambiente de ocorrência natural da espécie no Rio Grande do Sul, encontrou valores médios de altura, DAP_{c/c} e volume aos 24 anos de idade de 11,94 m, 21,82 cm e 0,2341 m³ respectivamente. Comparando os valores médios com os do presente trabalho fica evidente a diferença no crescimento da espécie quando inserida em plantios homogêneos.

O intuito de coletar indivíduo em 3 localidades diferentes era de analisar três classes de sítio, porém utilizando como base a classificação de classes de sítio desenvolvida por Hoogh *et al.* (1978), os indivíduos foram estratificados em duas classes de produtividade. A classe de sítio I, que reúne as 10 árvores da parte mais baixa do plantio, apresentando índice de sítio de 22 m; e a classe de

sítio II, com as 20 araucárias restantes da encosta e da parte mais alta do plantio, apresentando índice de sítio de 20 m.

Na Tabela 3 estão os resultados dos ajustes dos modelos para todas as variáveis estudadas nas classes de sítio I e II, como para os dados não estratificados.

Tabela 3. Estatísticas dos modelos de crescimento ajustados para todas as variáveis.

Variável	Modelo	Classe de Sítio I		Classe de Sítio II		Geral	
		R ² aj	S _{xy} %	R ² aj	S _{xy} %	R ² aj	S _{xy} %
Ht	Prodan	0,9356	13,87	0,9301	13,45	0,9277	14,05
	Chapman-Richards	0,9358	13,84	0,9303	13,44	0,9279	14,02
	Gompertz	0,9347	13,96	0,9275	13,70	0,9258	14,23
	Logística	0,9282	14,64	0,9189	14,49	0,9180	14,95
DAP	Prodan	0,6979	31,71	0,8129	23,07	0,7716	26,16
	Chapman-Richards	0,6974	31,74	0,8120	23,13	0,7709	26,20
	Gompertz	0,6950	31,87	0,8080	23,37	0,7675	26,39
	Logística	0,6879	32,23	0,7990	23,91	0,7594	26,85
g	Prodan	0,4793	71,19	0,6545	49,27	0,5924	56,77
	Chapman-Richards	0,4874	70,64	0,6621	48,73	0,5926	56,76
	Gompertz	0,4798	71,16	0,6608	48,82	0,5915	56,83
	Logística	0,4838	70,88	0,6565	49,13	0,5879	57,08
v	Prodan	0,5537	82,72	0,6509	64,74	0,6106	71,63
	Chapman-Richards	0,5541	82,68	0,6512	64,71	0,6109	71,60
	Gompertz	0,5538	82,70	0,6509	64,74	0,6106	71,63
	Logística	0,5519	82,88	0,6484	64,97	0,6084	71,83

As estatísticas de ajuste dos modelos testados indicam que Chapman-Richards apresentou uma performance melhor que os demais para todas as variáveis com exceção do DAP, a qual teve sua evolução melhor representada pelo modelo de Prodan. Todavia, os modelos apresentaram um fraco ajuste para volume e área transversal com elevados erros, maiores que 48% chegando a 80%. Por outro lado, os erros médios foram relativamente menores para estimar o diâmetro e a altura, variando de 13 a 32%.

Figueiredo Filho *et al.* (2008) ao estudar a modelagem do crescimento e da produção de plantios de araucária com idades variando de 41 a 61 anos, utilizando a técnica de análise de tronco completa na Floresta Nacional de Irati,

encontraram resultados parecidos com erros médios de 25,8%, 19,25% e 65,44%, respectivamente para o diâmetro, altura e volume.

Na Figura 5 estão plotadas as nuvens de pontos de todos os indivíduos para as variáveis altura, DAP, área transversal e volume sobre a idade, bem como as curvas médias que representam os ajustes.

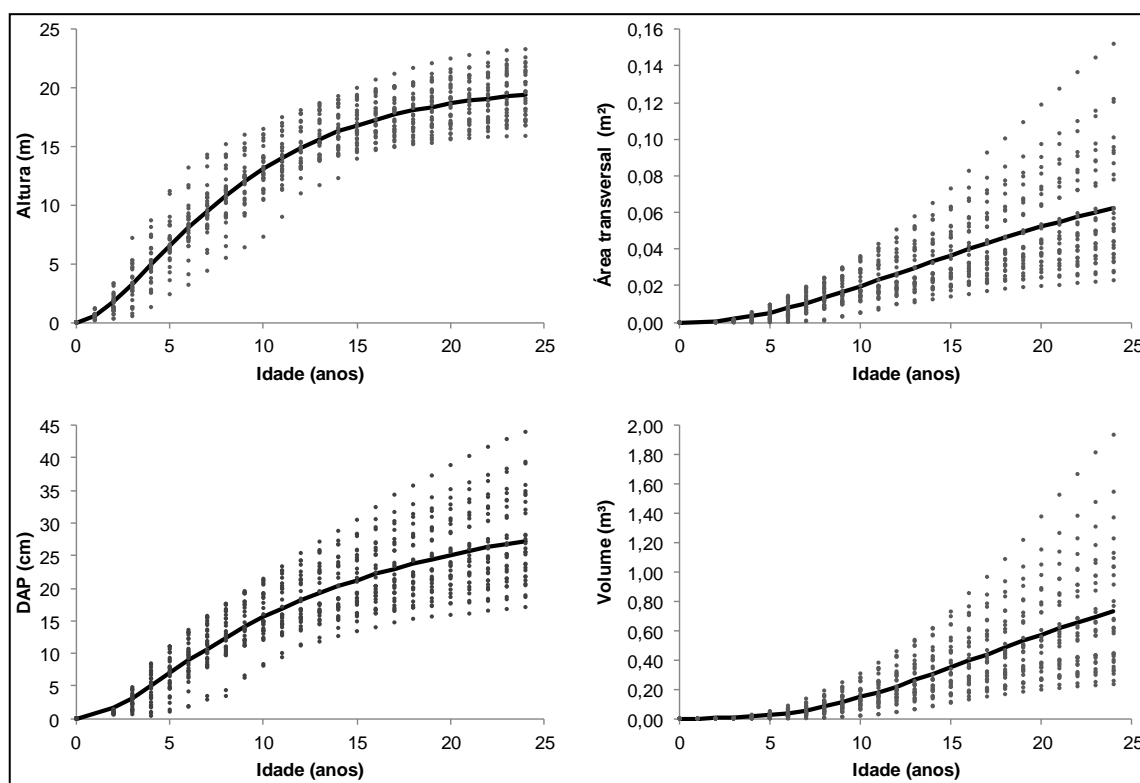


Figura 5. Dispersão dos valores das variáveis estudadas sobre a idade e curvas médias dos ajustes.

Na Figura 5 é possível observar uma maior dispersão dos valores observados de diâmetros, áreas transversais e volumes em relação aos valores de alturas. Os valores de altura se encontram mais concentrados, por consequência apresentam uma menor variância e baixo erro no ajuste quando comparado as demais variáveis, que possuem alta variância dos dados, explicando o grande erro encontrado nos ajustes.

Na Tabela 4 estão listados os coeficientes e as estatísticas dos modelos de Chapman-Richards e Prodan, selecionados como mais adequados por possuírem menores erros padrões da estimativa em porcentagem e maiores coeficientes de determinação ajustados. O modelo empírico de Prodan foi escolhido para

descrever o crescimento em diâmetro, ao invés do modelo biológico de Chapman-Richards, por ter apresentado melhor performance para ambas as classes de sítio e para o geral.

Tabela 4. Coeficientes e estatísticas dos ajustes dos modelos selecionados.

Variável	Modelo	Classe	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ² aj	S _{xy} %
H _t	C-R	Sítio I	21,4365	0,1589	2,0988	0,9358	13,84
		Sítio II	19,6340	0,1568	1,7450	0,9303	13,44
		Geral	20,2581	0,1563	1,8462	0,9279	14,02
DAP _{s/c}	Prodan	Sítio I	2,6488	0,1342	0,0270	0,6979	31,71
		Sítio II	1,7031	0,2193	0,0244	0,8129	23,07
		Geral	1,9558	0,1992	0,0250	0,7716	26,16
g	C-R	Sítio I	0,0989	0,0791	2,7577	0,4874	70,64
		Sítio II	0,1024	0,0689	2,3301	0,6621	48,73
		Geral	0,1015	0,0719	2,4546	0,5926	56,76
v	C-R	Sítio I	1,4194	0,0822	4,0088	0,5541	82,68
		Sítio II	1,3144	0,0760	3,4767	0,6512	64,71
		Geral	1,3529	0,0779	3,6435	0,6109	71,60

Nos modelos biológicos o valor do coeficiente *a* representa o valor assintótico para a variável e *b* caracteriza a inclinação da curva, ou seja, expressa a taxa de crescimento (SCOLFORO, 2006). Pode-se observar que os valores dos coeficientes *a* em geral foram coerentes com os valores assintóticos observados dos indivíduos, sendo também os coeficientes *b* da Classe de Sítio I ligeiramente superiores que os da Classe de Sítio II, seguindo padrão esperado.

Os resíduos (Figuras 6-9) indicam que as estimativas não têm tendências, exceto para as menores idades (até 10 anos).

Figueiredo Filho *et al.* (2008) ao estudarem araucárias de 41 a 61 anos, se depararam com a mesma situação de distribuição dos resíduos, encontrando tendências em superestimar a variável de interesse para as menores idades, até 20 anos.

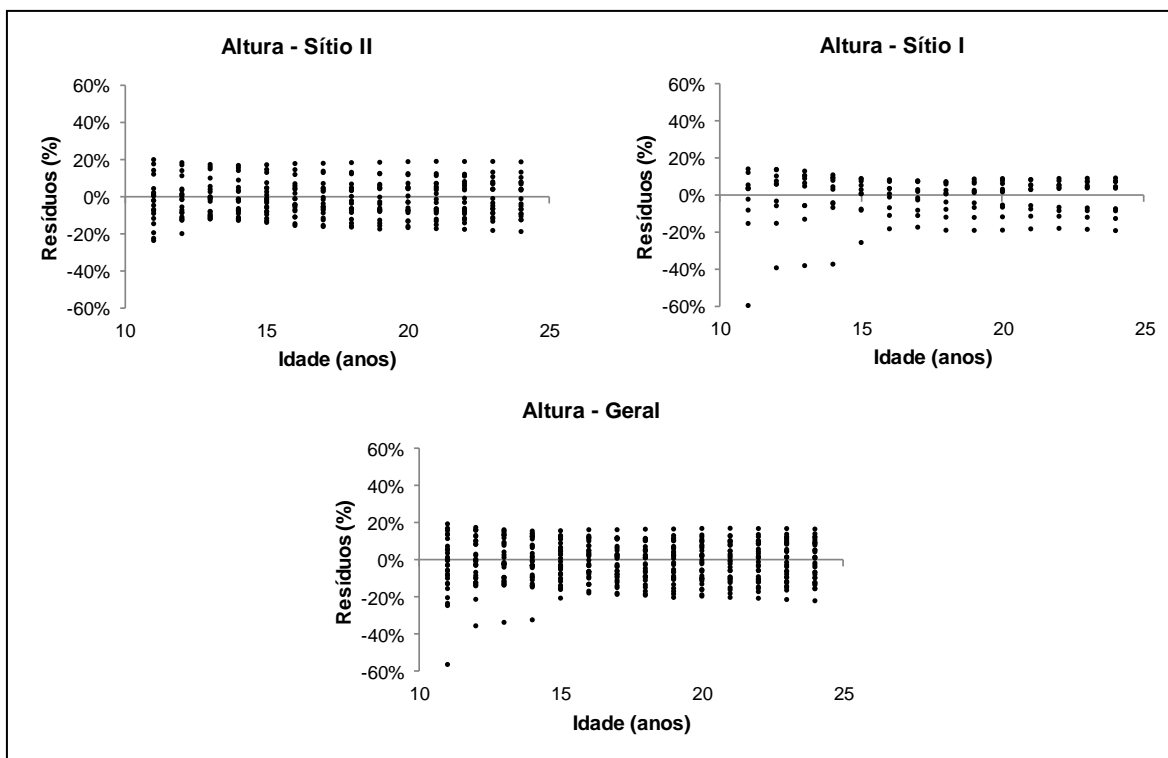


Figura 6. Dispersão dos resíduos do modelo de Chapman-Richards para as estimativas de altura.

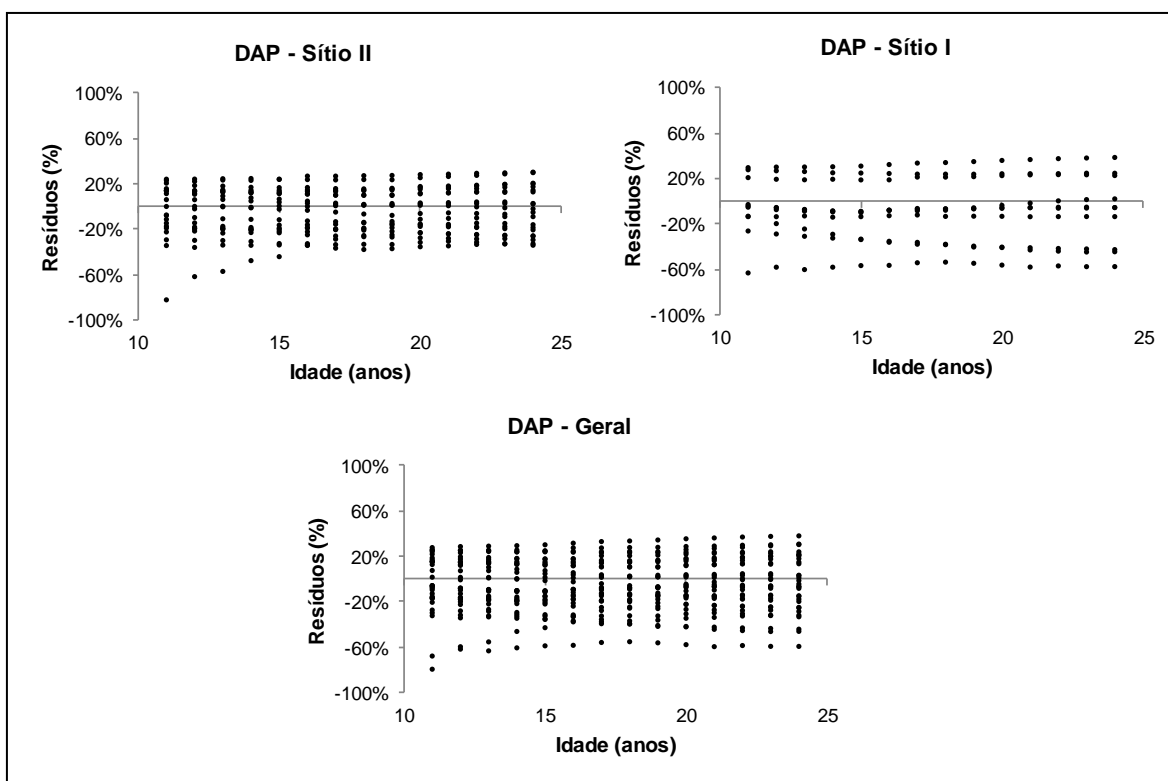


Figura 7. Dispersão dos resíduos do modelo de Prodan para as estimativas do DAP.

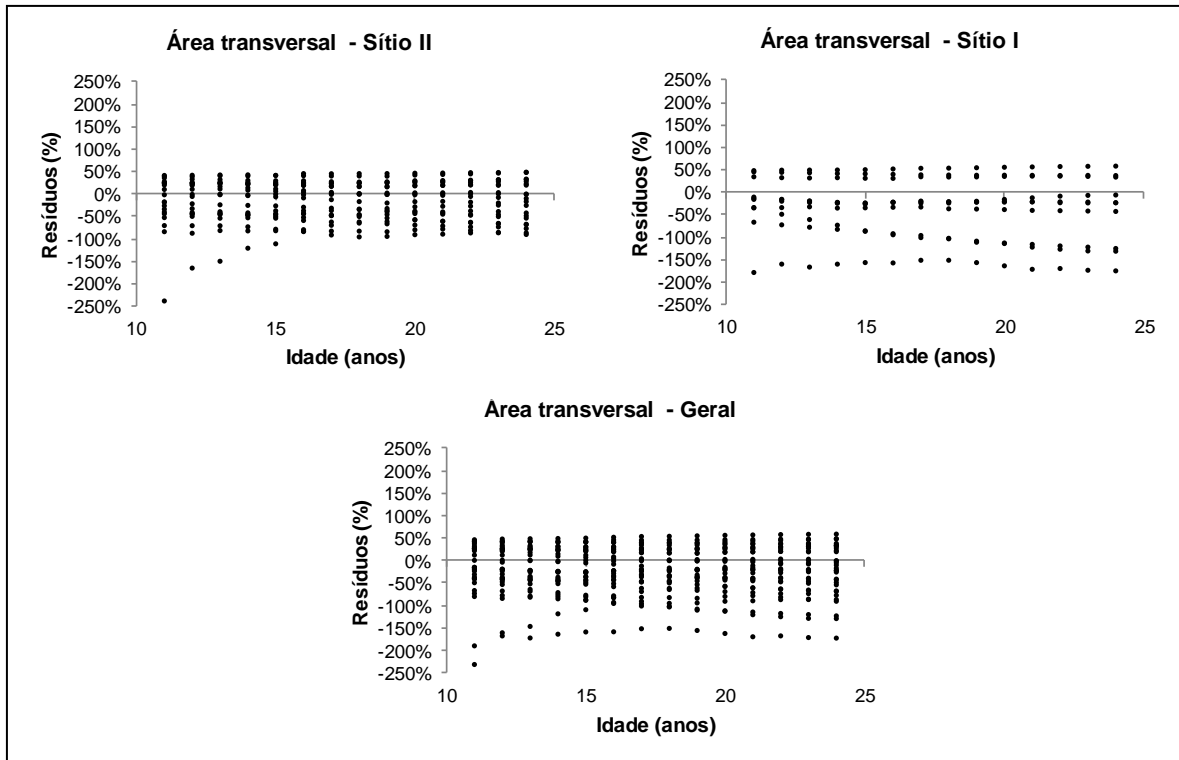


Figura 8. Dispersão dos resíduos do modelo de Chapman-Richards para as estimativas de área transversal.

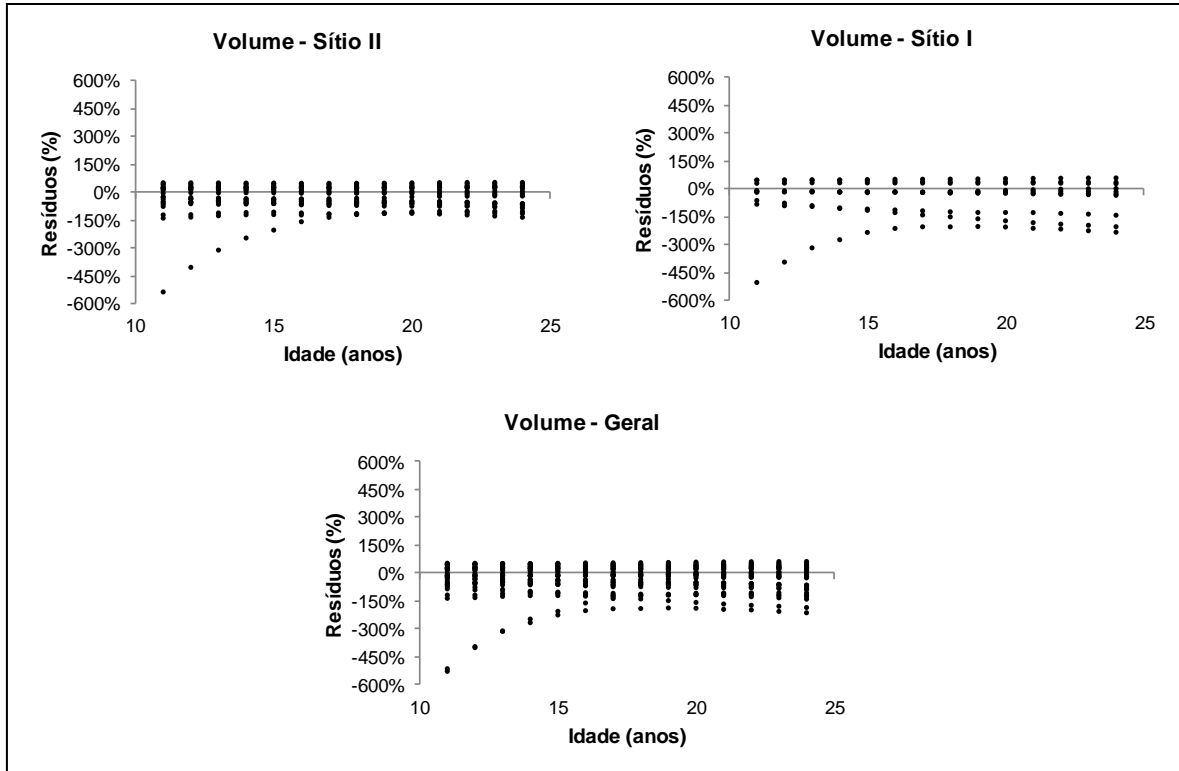


Figura 9. Dispersão dos resíduos do modelo de Chapman-Richards para as estimativas de volume.

É possível observar que a partir dos 10 anos de idade os resíduos se distribuem aleatoriamente ao longo dos anos, não observando qualquer tendenciosidade nos ajustes. Para os primeiros 10 anos de idade, as equações ajustadas superestimam as variáveis de interesse. Todavia são resultados válidos pois a modelagem biológica pode apresentar elevados erros em função da grande variabilidade diamétrica.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de máximo ICA e de IMA para todas as variáveis na duas classes de sítio e para os dados em geral.

Tabela 5. Valores de máximo ICA e de IMA para as variáveis.

Variável	Classe	Máximo ICA	IMA
H_t	Sítio I	1,67 m/ano	0,85 m/ano
	Sítio II	1,63 m/ano	0,79 m/ano
	Geral	1,62 m/ano	0,81 m/ano
DAP	Sítio I	1,88 cm/ano	1,12 cm/ano
	Sítio II	1,95 cm/ano	1,14 cm/ano
	Geral	1,91 cm/ano	1,14 cm/ano
g	Sítio I	0,00354 m ² /ano	0,00263 m ² /ano
	Sítio II	0,00335 m ² /ano	0,00260 m ² /ano
	Geral	0,00341 m ² /ano	0,00261 m ² /ano
v	Sítio I	0,04914 m ³ /ano	0,03244 m ³ /ano
	Sítio II	0,04313 m ³ /ano	0,02972 m ³ /ano
	Geral	0,04512 m ³ /ano	0,03063 m ³ /ano

Para todas as variáveis com exceção do DAP, os valores de máximo ICA e de IMA se apresentaram ligeiramente superiores para o sítio I em relação ao sítio II. Para a variável DAP os valores para o sítio II foram superiores. Mas a diferença dos valores entre as classes de sítio e a geral foi muito pequena.

Nas Figuras 10-15 são apresentadas as curvas de produção, incrementos correntes e médios anuais estimados a partir dos modelos de melhor ajuste para todas as variáveis e classes.

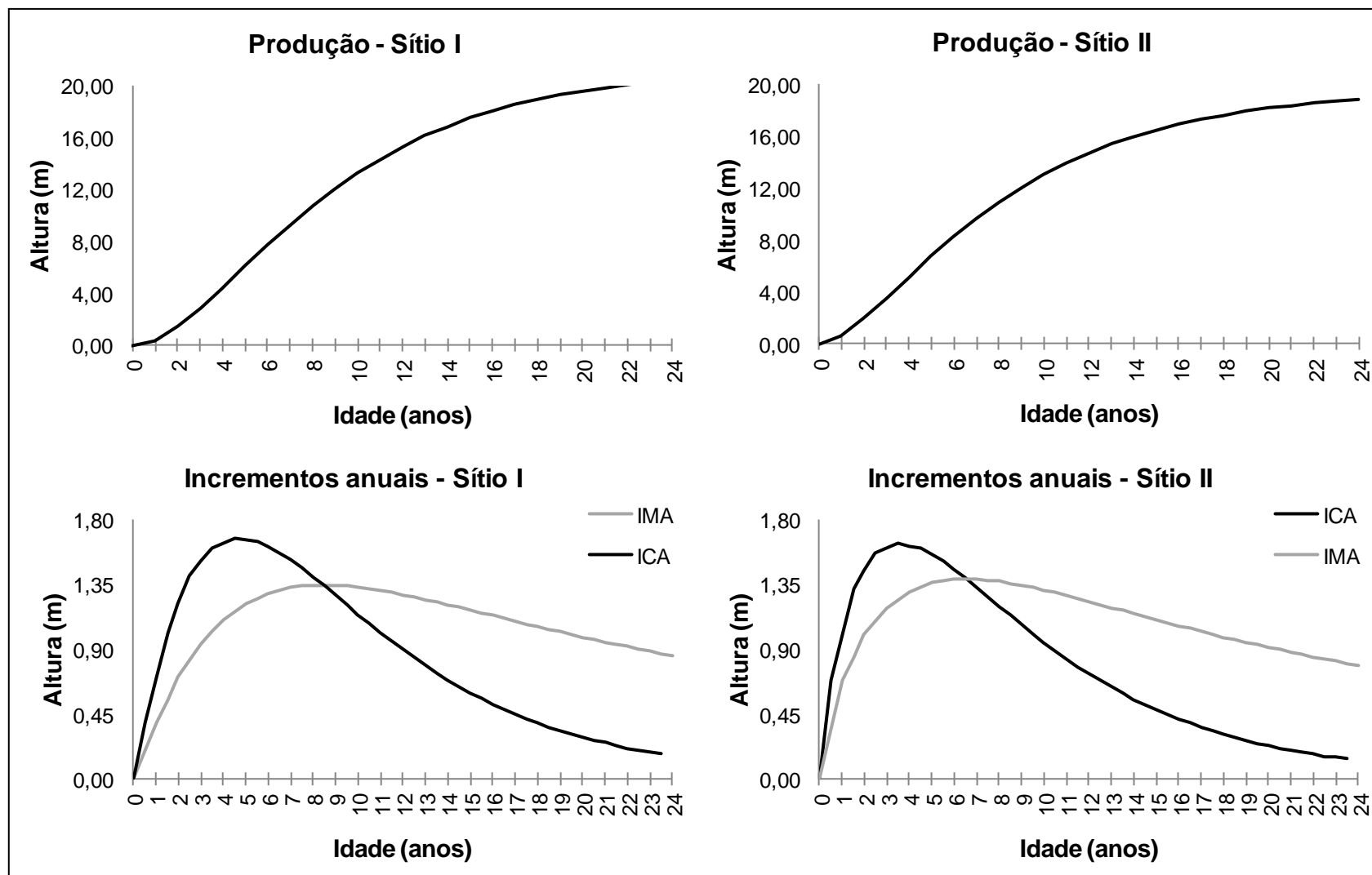


Figura 10. Curvas de crescimento e produção geradas pelo modelo de Chapman-Richards para a altura.

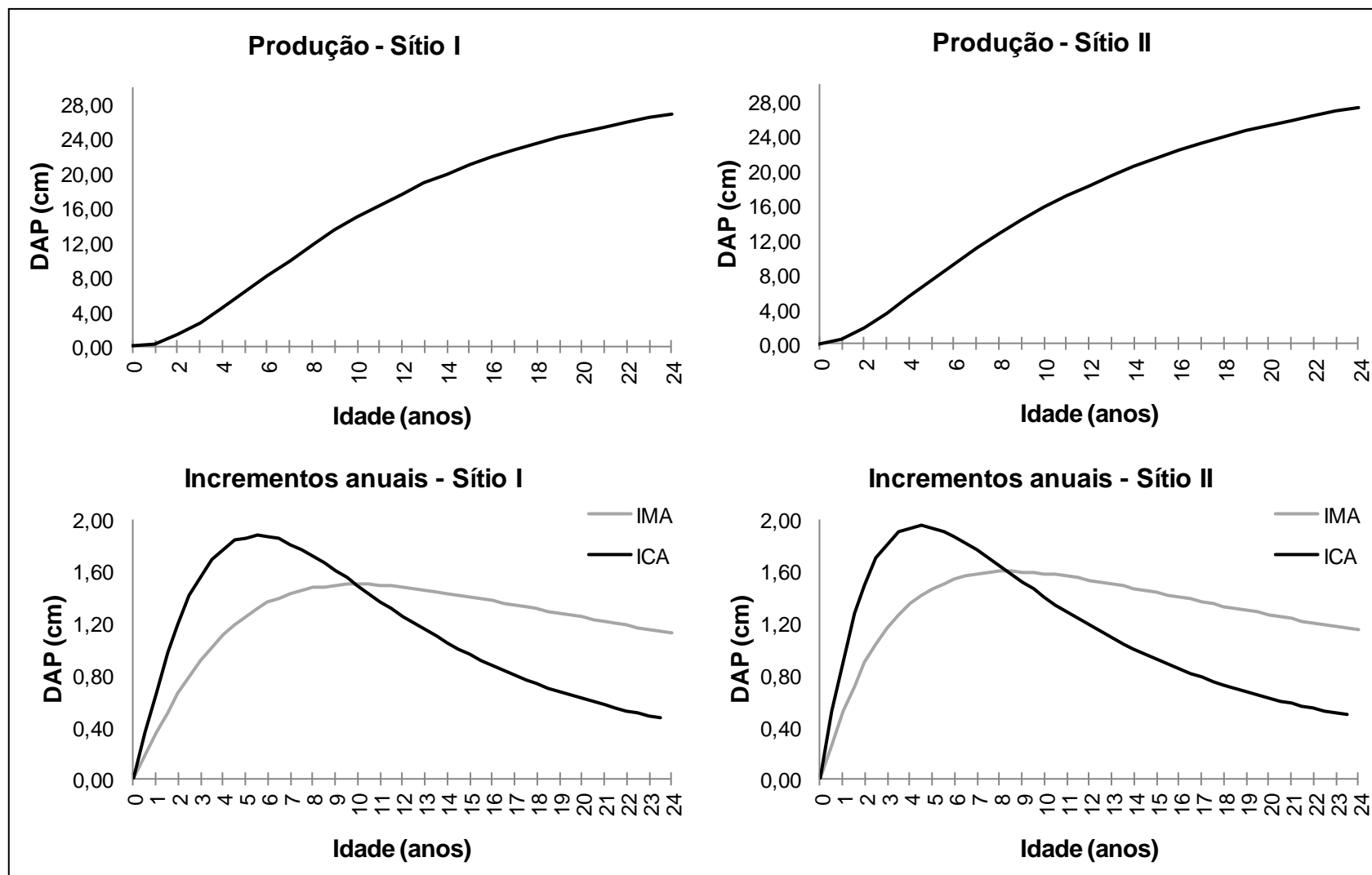


Figura 11. Curvas de crescimento e produção geradas pelo modelo de Prodan para o DAP.

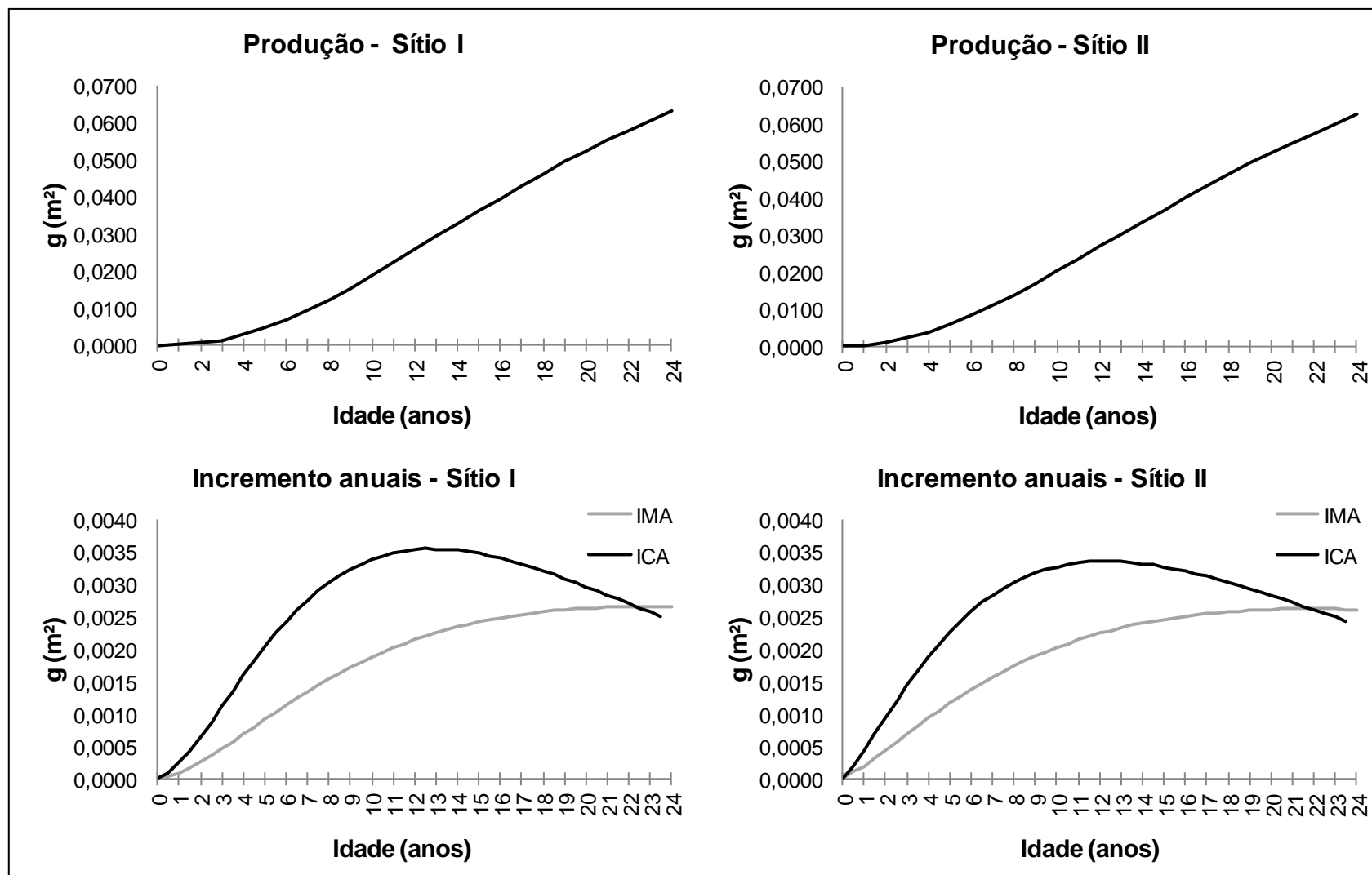


Figura 12. Curvas de crescimento e produção geradas pelo modelo de Chapman-Richards para a área transversal.

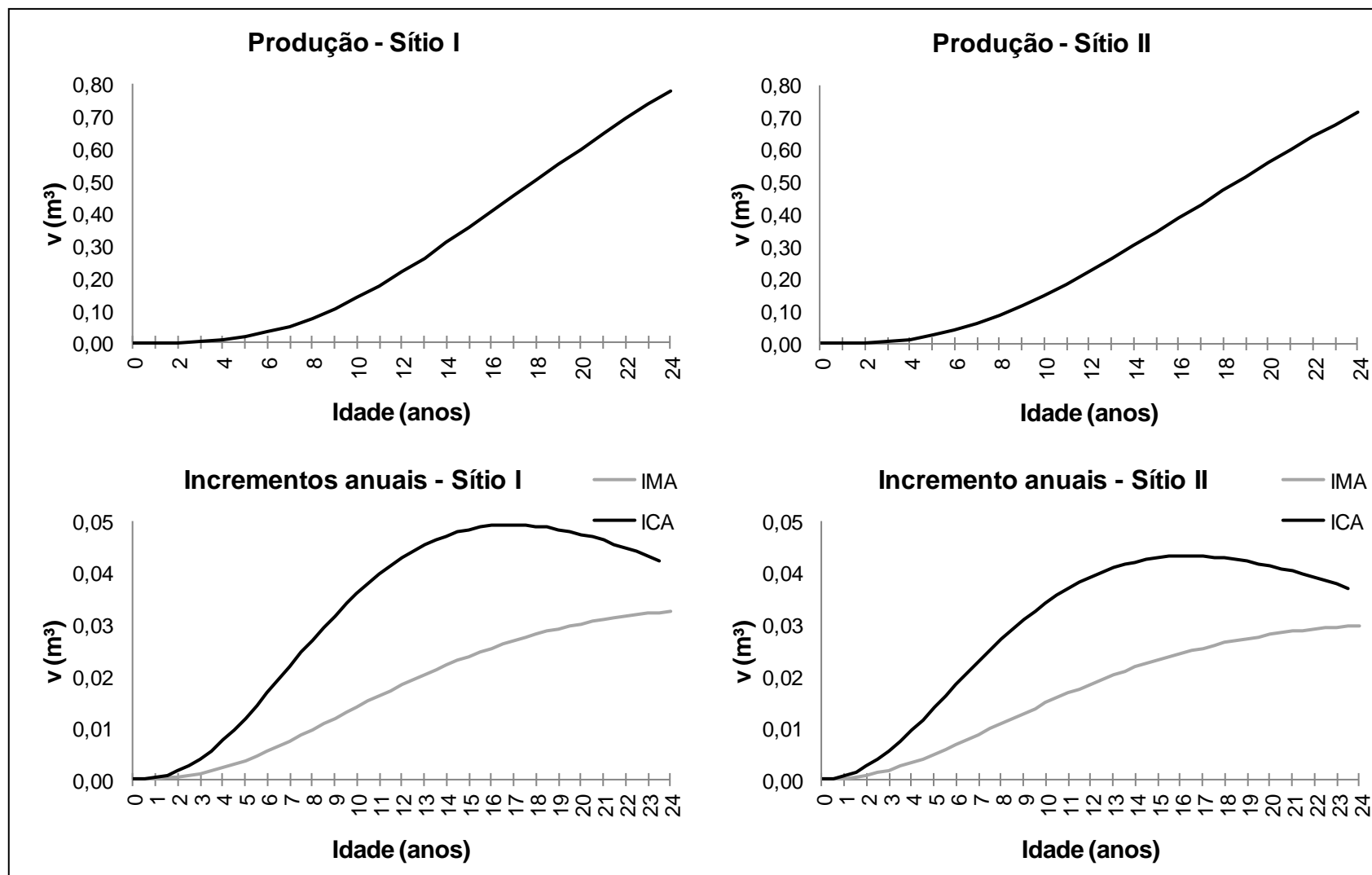


Figura 13. Curvas de crescimento e produção geradas pelo modelo de Chapman-Richards para o volume.

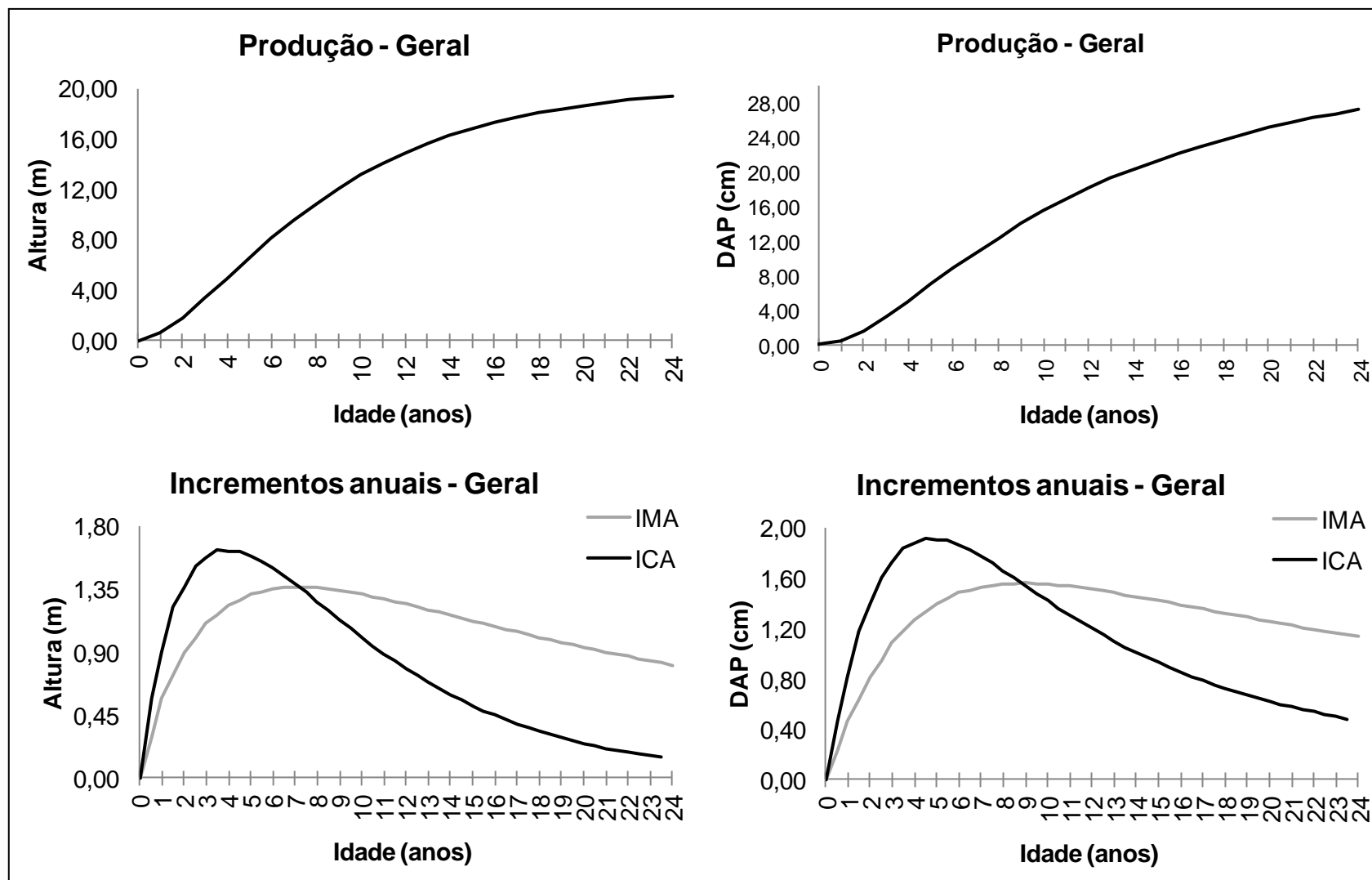


Figura 14. Curvas de crescimento e produção geradas para as variáveis altura e DAP no geral.

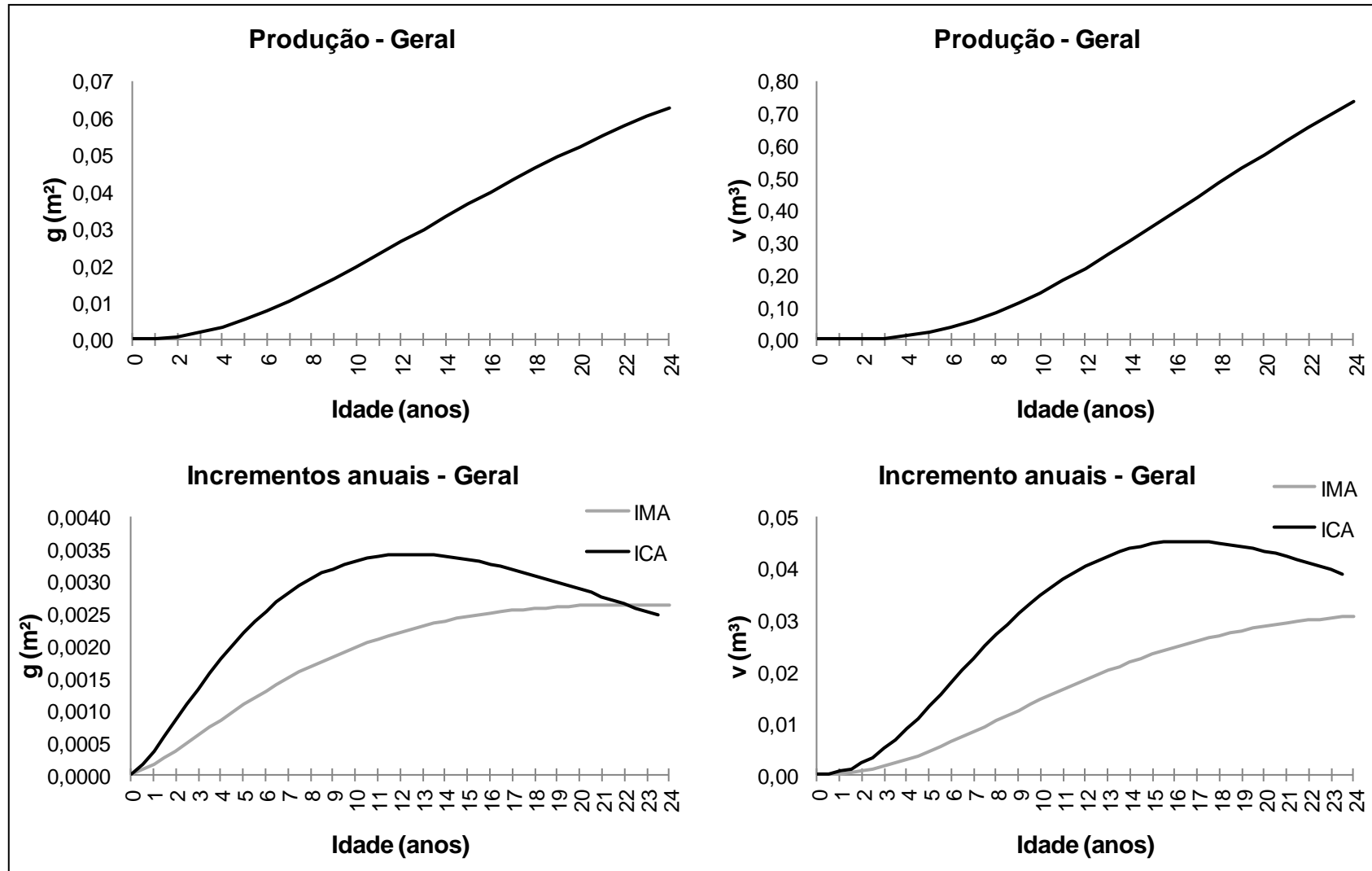


Figura 15. Curvas de crescimento e produção geradas para as variáveis área transversal e volume no geral.

As curvas de produção apresentaram forma sigmoideal e todas as curvas de produção do Sítio II se apresentaram mais baixas que as do Sítio I, como esperado. Esse plantio atingiu o valor de máxima produtividade biológica para as variáveis altura, diâmetro e área transversal, não atingindo apenas para a variável volume, seguindo a ordem natural de culminação das variáveis dendrométricas em árvores individuais, amplamente vista e descrita na literatura florestal.

Para a variável altura, os valores de máxima produtividade biológica foram alcançados em idades diferentes para os dois sítios: o sítio I atingiu seu valor assintótico aos 8 anos de idade enquanto o sítio II atingiu mais cedo, aos 6 anos. Para os dados não estratificados o valor assintótico foi atingido aos 7 anos, uma média dos sítios. Hess (2006) encontrou valor assintótico da altura atingido aos 55 anos na Serra do Sudeste (RS).

Para a variável diâmetro os resultados foram semelhantes: o sítio I atingiu seu valor de máxima produtividade biológica mais tarde, aos 10 anos, enquanto o sítio atingiu aos 8 e sem estratificação dos dados atingiu aos 9. Figueiredo Filho *et al.* (2007) encontrou valor de máxima produtividade biológica para diâmetro na idade de 12 anos.

Já para a variável área transversal a estratificação em classes de sítio não alterou a idade onde as curvas de IMA e ICA se cruzaram, para ambos os sítios a idade foi de 22 anos, a mesma que para os dados não estratificados. Figueiredo Filho *et al.* (2007) encontrou que aos 30 anos o plantio atingiu o valor de máxima produtividade biológica para área transversal.

Para concluir se existe diferença entre as classes de sítio, foi realizado o teste “t” de Student para os volumes reais (Tabela 6) em todas as idades.

Para todas as idades os valores calculados de t foram não significativos a 5% de probabilidade (Tabela 7), ou seja, os volumes médios das duas classes de sítio podem ser provenientes de uma população com a mesma média. Podendo se concluir que não existe diferença entre as duas classes de sítio encontradas.

Os valores negativos de “ t ” se caracterizam pelas medidas de tendência centrais (média, moda e mediana) não coincidirem e, a curva de distribuição estar deslocada para a direita.

Tabela 6. Volumes médios (m³) para todas as idades e sítios.

Idade	Sítio I	Sítio II	Idade	Sítio I	Sítio II
1	0,000005	0,00002	13	0,268280	0,26659
2	0,000106	0,00023	14	0,310529	0,30528
3	0,001106	0,00195	15	0,356886	0,34705
4	0,004551	0,00830	16	0,405878	0,38642
5	0,011940	0,01969	17	0,449621	0,42322
6	0,025666	0,03674	18	0,495578	0,46586
7	0,046601	0,05845	19	0,545682	0,51042
8	0,074616	0,08500	20	0,599982	0,55927
9	0,106871	0,11496	21	0,650344	0,60189
10	0,142288	0,14766	22	0,696982	0,64363
11	0,179947	0,18431	23	0,740573	0,67952
12	0,222632	0,22448	24	0,774827	0,70965

Tabela 7. Valores de *t* calculados para todas as idades.

Idade	Valor <i>t</i>	Idade	Valor <i>t</i>
1	-1,10 ^{ns}	13	0,03 ^{ns}
2	-2,12 ^{ns}	14	0,08 ^{ns}
3	-1,49 ^{ns}	15	0,14 ^{ns}
4	-1,57 ^{ns}	16	0,25 ^{ns}
5	-1,54 ^{ns}	17	0,31 ^{ns}
6	-1,29 ^{ns}	18	0,31 ^{ns}
7	-0,93 ^{ns}	19	0,33 ^{ns}
8	-0,57 ^{ns}	20	0,34 ^{ns}
9	-0,34 ^{ns}	21	0,37 ^{ns}
10	-0,18 ^{ns}	22	0,37 ^{ns}
11	-0,12 ^{ns}	23	0,39 ^{ns}
12	-0,04 ^{ns}	24	0,39 ^{ns}

Em que ^{ns} é não significativo a 5% de probabilidade.

Figueiredo Filho *et al.* (2007) estudando o crescimento para plantios da espécie por meio da análise de tronco completa apresentaram valores de ICA e IMA para variável diâmetro inferiores aos desta pesquisa, de 1,55 cm/ano e 1,05 cm, respectivamente. Hess *et al.* (2009) analisando a variação do crescimento em diâmetro de *A. angustifolia* para três regiões do Rio Grande do Sul, obtiveram um IMA de 0,98 cm/ano. Já para este estudo o IMA observado foi 1,12 cm/ano,

mesmo tendo sido estudados indivíduos de idades semelhantes, a diferença na taxa de crescimento do ambiente natural de ocorrência da espécie não se compara ao de um plantio.

Zamin (2013) em plantios jovens de até 7 anos de idade encontrou valores de máximo ICA semelhantes ao da presente pesquisa para altura, com 1,6 m/ano; e de IMA para a variável altura, superior com 1,2 m/ano. Esse alto valor de IMA pode ser atribuído a terem sido analisados indivíduos jovens, portanto com maiores taxas de incremento.

Estudando indivíduos de até 60 anos de idade em seu ambiente de ocorrência natural, Hess (2006) descobriu que a variável volume ainda não havia atingido o valor assintótico, apresentando um ICA máximo de 0,0311 m³/ano.

Todos esses estudos evidenciam a diferença no crescimento das variáveis dendrométricas entre o ambiente de ocorrência natural da espécie e em plantios comerciais.

6 CONCLUSÕES

O modelo biológico de Chapman-Richards se mostrou o mais eficiente para as variáveis volume, altura e área transversal. Já o modelo empírico de Prodan se mostrou o mais eficiente na estimativa do DAP em função da idade.

Todos os modelos apresentaram tendência em superestimar as variáveis de interesse nos primeiros 10 anos.

Pelas curvas de crescimento observa-se que o povoamento já atingiu o seu valor de máxima produtividade biológica para todas as variáveis estudadas, exceto volume.

As duas classes de sítio apresentaram idades diferentes para o cruzamento das curvas de IMA e ICA para as variáveis diâmetro e altura; e a mesma idade para a variável área transversal, não tendo se cruzado para o volume.

Os semelhantes valores de ICA e IMA para todas as variáveis estudadas indicam uma não diferenciação entre as classes de sítio.

7 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR

O acadêmico de Engenharia Florestal Yuri Accioly desenvolveu, durante o período de fevereiro de 2015 a junho de 2015, uma importante pesquisa sobre crescimento e produção florestal, cujo título é “MODELAGEM DO CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE ARAUCÁRIA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze”. Este trabalho está bem redigido, tem objetivos claros e a metodologia usada é adequada para atingir os resultados.

Yuri Accioly

Prof. MSc. Décio José de Figueiredo

8 REFERÊNCIAS

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study – Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands.** Oxford/ New York/ Toronto/ Sydney/ Braunschweig. Pergamon press, 1970. 506p.

BRASIL. Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. **Diário Oficial (da República Federativa do Brasil)**. Portaria nº. 06-N, de 15 de janeiro de 1992.. p.870-872.

BURGER, D. **Ordenamento florestal 1: a produção florestal.** 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências Agrárias, 1976. 1 v.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas** – 2. ed. rev. E ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2006. 470p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília, DF: EMBRAPA – SPI, 1994. 640 p.

EMBRAPA. **Banco de dados climáticos do Brasil.** Acesso online em 07/03/2015. <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/>

ENCINAS, J.I.; SILVA, F.G.; PINTO, R.R.J. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v.7, n.1. 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A.; HUBIE, S. do R.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. de & SANQUETTA, C. R. Avaliação do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do estado do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, jan/ jun, 2003. 69-84 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SCAVINSKI, V.; CHIQUETTO, L. A.; DIAS, A. N.; DOS SANTOS, M. D. Estudos de crescimento em plantios de *Araucaria angustifolia* com o uso de análise de tronco completa. **Revista Ambiência**. 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MENON, F. V. ; DIAS, A. N. ; SANTOS, M. D. ; SANTOS, R. C. . MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze NA FLORESTA NACIONAL

DE IRATI. Irati, Pr. In: **XIX Seminário de Pesquisa e XIV Semana de Iniciação Científica**, 2008.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992, 269 p.

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 repoblações forestales en el estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.6, p. 7-62, 1967.

GOMES A. M. A. **Medição de arvoredos**. Lisboa: Livraria As da Costa,1957, 413p.

GUBERT, F. **Proposta para a criação de um sistema de unidades de conservação da *Araucaria angustifolia* no Estado do Paraná**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, n.42, p.287-300.

HESS, André Felipe. **Inter-Relações no Crescimento De *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze Em Diferentes Locais do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006. Tese de Doutorado.

HESS, A.F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C.A.G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.19, n.1, p. 7-22, jan-mar., 2009.

HOOGH, R. J. de; DIETRICH, A. B. Classificação de sítio, tabela de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, n. 36, p. 58-82, 1978.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: Ronald Press Co., 1982. 410p.

KOEHLER, A. B. **Modelagem Biométrica e Morfometria em Povoamentos Jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em Tijucas do Sul, Estado do Paraná.** 128p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2009.

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

MACHADO, S.A.; SILVA, L.C.R.; FIGURA, M.A.; TÉO, S.J.; NASCIMENTO, R.G.M. Comparison of methods for estimating heights from completely stem analysis data for *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.1, p.45-56, 2010.

PLADOWSKI, G.; et al. Crescimento sazonal do diâmetro com o uso de cintas dendrométricas de 16 espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada na Floresta Nacional de Irati, PR. **In: XIV Encontro Anual de Iniciação Científica - EAIC 2005**, Guarapuava, PR. XIV EAIC. Guarapuava, PR: UNICENTRO, 2005.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal.** San José, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1997. 586p.

RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Anatomia da madeira.** 2. ed. Curitiba: UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, 1978, 76 p.

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

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

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 441p.

SCOLFORO, José Roberto Soares. **Biometria Florestal : Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras - MG: UFLA/FAEPE, 2006. v. 1. 393p.

SEELE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. Santa Maria - RS: UFSM. 1993. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria.

SPURR S. H. **Forest Inventory**. New York : Ronald Press, 1952, 476 p.

TEMPS, M. **Adição da precipitação pluviométrica na modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Mestrado), Setor de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2005. 117p.

TONINI, H. *et. al.* Comparação Gráfica entre Curvas de Índices de Sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* Desenvolvidas no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, jun. 2002. vol. 12, n. 1. p. 143-152

TURNBULL, K. J. **Population dynamics in mixed forest stands. A system of mathematical models of mixed stand growth and structure**. Tese (Doutorado). University of Washington, 1963.186p.

ZAMIN, N. T. **Avaliação do crescimento e modelagem da produção mensal em povoamentos juvenis de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis climáticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba. 98 p. 2013.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze., em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n.4, p. 425-431, out./jun., 2009.

ZEIDE, B. Analysis of Growth Equation. **Forest Science**, v. 39, n. 3, p.594-616. August, 1993.