

DANIEL MENEZES NOVAES

**MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE
Tectona grandis L.f. A PARTIR DE ANÁLISE DE TRONCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência da Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

DANIEL MENEZES NOVAES

**MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE
Tectona grandis L.f. A PARTIR DE ANÁLISE DE TRONCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 07 de Dezembro de 2009.

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares
(Co-orientador)

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva
(Co-orientador)

Prof. Laércio Couto

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis

Prof. Helio Garcia Leite
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida cheia de oportunidades que me foram oferecidas e muito bem aproveitadas.

Aos meus pais, Tatiana Fernandes de Menezes e Frederico José Bandeira de Melo e Novaes, pelo amor e dedicação que me foi oferecido, por terem me dado todas as condições para chegar aonde cheguei e terem apoiado minhas decisões.

À Nina Escorel Arouca, minha esposa, por ter me mostrado o valor do amor puro e da entrega para a relação. Pelos mais difíceis desafios superados que enfrentamos juntos, e manter meus pés no chão nos momentos mais difíceis que enfrentei. E a nossa filha, fruto do nosso amor, que só trouxe alegria e motivação para os nossos dias. Amo vocês.

Aos meus irmãos, por sempre terem sido grandes companheiros, amigos e conselheiros.

Ao Professor Helio Garcia Leite, por ser um grande ser humano, excelente orientador e ótimo companheiro. Além de ser paciente e compreensivo diante das dificuldades e desafios enfrentados por mim no nosso trajeto.

Ao Doutor Roberto Pacheco, ao engenheiro florestal Erick e toda a equipe da CVA (Companhia do Vale do Araguaia) por terem sido prestativos e disponibilizado todas as informações que precisei. Espero que esse trabalho seja útil para vocês.

À CNPq, pelo apoio durante a minha pós graduação na UFV.

Aos irmãos e amigos da CN/GS e tantos outros amigos do coração, que compartilharam comigo uma vida de crescimento e amadurecimento.

Aos professores e funcionários do DEF que me acompanharam esses anos em Viçosa. Aos professores Helio, Agostinho, Haroldo e Boechat por quem tenho grande admiração e respeito.

À International Paper do Brasil, por ter oferecido o apoio para minhas viagens de conclusão do mestrado.

A cidade de Viçosa, pela qualidade de vida que me foi oferecida, e aos moradores da Violeira, onde passei grande parte do meu tempo.

Ao Vipassana, por ter me ensinado a manter a mente calma e tranqüila nas mais diversas situações.

À Vida, por ser bela, excitante e apaixonante.

BIOGRAFIA

Daniel Menezes Novaes nasceu no Rio de Janeiro - RJ em 07 de janeiro de 1983.

Em 2000 concluiu o ensino Médio no Instituto Brasileiro de Pesquisa em Informática.

Em 2003 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, concluindo o mesmo em dezembro de 2007.

Em fevereiro de 2008 iniciou o Mestrado em Ciências Florestais no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa na área de Mensuração e Manejo Florestal.

Em Janeiro de 2009 foi contratado pela International Paper do Brasil Ltda. como Trainee da área florestal.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	5
2.1. Descrição da Área e Amostragem	5
2.2. Análise completa do tronco e classificação da capacidade produtiva	6
2.3. Análise parcial de tronco e modelagem de crescimento e produção	10
2.4. Equação de volume	13
2.5. Modelagem do crescimento e da produção	14
3. Resultados e Discussão	18
3.1. Curvas de índices de local	18
3.2. Modelos de crescimento e produção	20
3.3. Modelo de Clutter usual	22
3.4. Modelo de Buckman	24
3.5. Modelo de Clutter na sua forma original	25
3.6. Modelo de árvores individuais (MAI)	26
3.7. Validação	28
4. Conclusões	32
5. Referências Bibliográficas	33
Anexo 1: Perfis de 32 árvores-amostra de <i>Tectona grandis</i> , obtidos com dados de análise completa de tronco.	36

RESUMO

NOVAES, Daniel Menezes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2009. **Modelagem e prognose em povoamentos de *Tectona grandis* a partir de análise de tronco**. Orientador: Helio Garcia Leite. Co-orientadores: Haroldo Nogueira de Paiva e Carlos Pedro Boechat Soares.

Os objetivos desse estudo foram de ajustar, avaliar e comparar modelos de crescimento e produção, empregando dados de análises parcial e completa do tronco de árvores de povoamentos de *Tectona grandis* (Teca), localizados no estado do Mato Grosso, Brasil. Os dados foram coletados em povoamentos da Companhia do Vale do Araguaia (CVA), com idades entre 4 e 10 anos. Dados obtidos por análise completa foram empregados para construção de curvas de índices de local e dados da análise parcial foram empregados para modelagem de crescimento e produção. Foram ajustados e avaliados o modelo de Clutter (nas forma original e usual), o de Buckman e um modelo em nível de árvores individuais. Esses modelos foram avaliados e comparados com base em estatísticas usuais e em análises de resíduos. A eficiência da amostragem por meio de análise de tronco para modelagem de crescimento e produção de povoamentos de teca foi comprovada. Este tipo de análise se aplica a

povoamentos já em idade avançada onde não foram mensuradas parcelas permanentes ao longo de todos os anos.

ABSTRACT

NOVAES, Daniel Menezes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, december, 2009. **Modeling and prognosis in stands of *Tectona grandis* from stem analysis.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-Advisers: Haroldo Nogueira de Paiva and Carlos Pedro Boechat Soares.

The aim of this study was to set, evaluate and compare models of growth and production, using data from partial and complete analysis of the trunk of tree stands of *Tectona grandis* (teak), located in Mato Grosso, Brazil. Data were collected in stands of Companhia do Vale do Araguaia (CVA), with ages between 4 and 10 years. Data obtained by complete analysis were used to construct site index curves and partial data analysis was used for modeling of growth and production. Were fitted and evaluated the Clutter model (in the original forms and usual), the Buckman model and a model at the level of individual trees. These models were evaluated and compared based on usage statistics and analysis of waste. The efficiency of sampling by stem analysis for modeling growth and yield of teak plantations was established. This type of

analysis applies to settlements already in advanced age where permanent plots were not measured throughout each year.

1. Introdução

A maior parte da madeira produzida no Brasil tem como objetivo final a geração de energia, celulose, laminados ou madeira serrada. Com exceção do setor de celulose, que utiliza apenas madeira de reflorestamento, para os demais usos ainda tem sido consumida madeira de florestas naturais. Apesar disso, embora ainda possam estar ocorrendo desmatamentos de forma predatória na Amazônia, visando abastecer principalmente os mercados de madeira serrada e de carvão para siderurgia, muitas empresas têm investido, nos últimos anos, em reflorestamento, também, para estes propósitos. Algumas tentativas de manejo de eucalipto para multi-produtos da madeira foram conduzidas no Brasil, porém ainda existe um pleno domínio do manejo visando celulose e carvão vegetal.

A demanda de madeira para produção de carvão vegetal no Brasil pode ser atendida plenamente com reflorestamentos com eucalipto. Por outro lado, ainda existem poucas espécies que são plantadas visando produção de compensados, aglomerados e madeira serrada. Os poucos planos de manejo divulgados para florestas naturais tem evidenciado a presença de poucas espécies para uso em processamento mecânico (laminação e serraria).

A partir do final da década de 60 teve início no Brasil as experiências com o gênero *Tectona*. Este gênero, principalmente a espécie *Tectona grandis* Linn F., é certamente a grande aposta do setor florestal para produção de madeira serrada de alto valor econômico nos próximos anos. O valor econômico da madeira e seu rápido crescimento observado em alguns estados do Brasil, juntamente com a produtividade geralmente alta, quando comparada a outros países, são os grandes atrativos para reflorestamento com este gênero. É possível que os reflorestamentos com teca e com eucalipto no Brasil possam contribuir para redução do desmatamento na região amazônica.

A teca é originária do continente asiático, de países como Birmânia, Índia, oeste da Tailândia, Java e em algumas pequenas ilhas do Arquipélago Indonésio (White, 1991). A área de ocorrência natural da teca situa-se entre 10° e 25° N, no subcontinente Índico e no Sudeste Asiático (Mahaphol, 1954; Streets, 1962; e Lamprecht, 1990). Conforme Ball et al. (2000), citado por Pérez (2005), entre os anos de 1913 a 1929 devem ter ocorrido os primeiros plantios de teca em Honduras, Panamá e Costa Rica. Embora algumas literaturas indiquem ocorrência natural na Indonésia, Kasoa-ard (1980) apud White menciona que ela foi introduzida nesse país há mais de 400 anos. Uma descrição detalhada da ocorrência natural de teca no mundo é encontrada em White (1991).

Como cultura exótica a teca já foi introduzida na África, Serra Leoa, Tanzânia, Togo, Caribe, Cuba, Jamaica, Trindade, El Salvador, Venezuela e Colômbia, na Ásia, na China, na Índia, na Indonésia, em Lao, na Malásia, em Myanmar, Nepal, Filipinas, Sri Lanka e Vietnã, na Austrália e no Brasil, dentre outros (White, 1991).

Existem muitas pesquisas sobre silvicultura, implantação, desrama artificial, desbastes e uso da madeira de teca (Torres, 1982, Långström e Helqvist, 1991, White, 1991, Torres et al., 1995, Bhat, 1995, Trockenbrodt e Josue, 1998, Baillères e Durand, 2000). Estes dois últimos autores encontraram grandes variações na qualidade da madeira proveniente de diferentes regimes de desbaste. Entretanto, trabalhos com bases de dados

consistentes, obtidos de parcelas permanentes estabelecidas para modelagem, são raros. Perez (2005) conduziu um estudo abordando o tema: *cenários de crescimento e produção para povoamentos de Tectona grandis na Costa Rica*. Conforme esse autor, embora existam estudos sobre crescimento e manejo de plantações de teca nos trópicos, na maioria das vezes os resultados não são conclusivos devido a limitações dos dados empregados. Na maioria das vezes tem sido empregado dados de parcelas temporárias ou de análise de tronco.

Estudos relacionados com biometria e mensuração florestal em povoamentos de teca também são encontrados na literatura (Singh, 1981; Torres et al. 1995; Camacho e Madrigal, 1997; Kumar et al., 1995; Nunifu e Murchinson, 1999). No Brasil, Leite et al. (2009) empregou dados de parcelas permanentes estabelecidas em povoamentos de teca localizados no estado do Mato Grosso. Nesses estudos foram construídas tabelas de volume, curvas de índices de local, modelos em nível de povoamento e modelos de distribuição de diâmetros e a origem dos dados foi sempre a mesma (Mato grosso).

Experiência com uso de dados de análise de tronco para estudos de crescimento e produção de teca foi divulgada por Drescher (2004). Esse mesmo autor utilizou dados de plantios com idades de 2 a 10 anos, localizados nos municípios de Santo Antônio do Leverger e Brasnorte, no Mato Grosso, sob espaçamento inicial de 3 x 2 m. Foram empregados dados de parcelas temporárias e dados de análises de tronco, completa e parcial. Os dados de análise completa foram empregados para construção de curvas de índices de local. O autor apresentou equações hipsométricas, equações volumétricas e tabelas de volume de povoamento. O volume por hectare foi obtido empregando a área basal média, a altura média e um fator de forma artificial estimado por meio de regressão, sendo confeccionadas tabelas de volume de povoamento. Embora os dados permitissem, não foram gerados modelos de crescimento e produção.

Bermejo et al. (2004) utilizaram dados de 318 parcelas permanentes de 500 m², para construção de tabelas de produção empíricas para

povoamentos localizados em Guanacaste, Costa Rica. O volume por hectare foi obtido pelo produto do número de árvores por hectare e diâmetro médio. Embora os dados permitissem, não foi construído modelo de crescimento e produção.

Exemplos de uso de dados de parcelas permanentes para construção de modelos de crescimento e produção para teca foram divulgados por Cruz et al. (2005) e por Nogueira et al. (2000). No primeiro estudo, foi construído um modelo em nível de povoamento, para plantios jovens e não submetidos a desbaste, localizados no município de Tangará da Serra, Mato Grosso. No segundo foi ajustado um modelo de distribuição de diâmetros para povoamentos localizados em municípios do mesmo estado. Nesse segundo estudo, a função Weibull de dois parâmetros foi empregada para construção do modelo.

Com base na literatura disponível verifica-se que existe muita demanda por modelos construídos com base de dados suficiente. Em alguns casos os dados permitiam, mas foram geradas apenas tabelas empíricas ou tabelas de volume de povoamento. Não foram encontrados estudos reportando o emprego de modelos de árvores individuais e modelos em nível de povoamento, empregando dados de análise de tronco. Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção de povoamentos florestais, as estimativas de produção dos povoamentos de teca muitas vezes ainda têm sido obtidas de forma empírica. Portanto, é justificada qualquer investigação científica envolvendo o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção para povoamentos desta espécie.

Este estudo foi conduzido para avaliar a eficiência do emprego de dados oriundos de análise de tronco, para classificação da capacidade produtiva e construção de modelos de crescimento e produção, em nível de povoamento e em nível de árvores individuais, para povoamentos de *Tectona grandis*.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da Área e Amostragem

Os dados para este estudo foram obtidos em povoamentos de *Tectona grandis* (teca) localizados no Município de Santo Antônio do Leverger - MT. A área de efetivo plantio é de 159,8 ha, distribuídas em oito compartimentos, cada um com uma idade (Tabela 1). Esses povoamentos foram submetidos a um desbaste pré-comercial com eliminação de árvores defeituosas e dominadas, após a ocupação do espaço de crescimento.

Tabela 1 – Idade e área dos talhões onde foram feitas as análises de tronco, em Santo Antonio do Leverger, MT

Talhão	1	2	3	4	5	6	7	8
Idade	10	8	7	6	5	4	3	2
Área	19,1	27,8	17,8	14,6	8,5	32,9	28,6	10,5

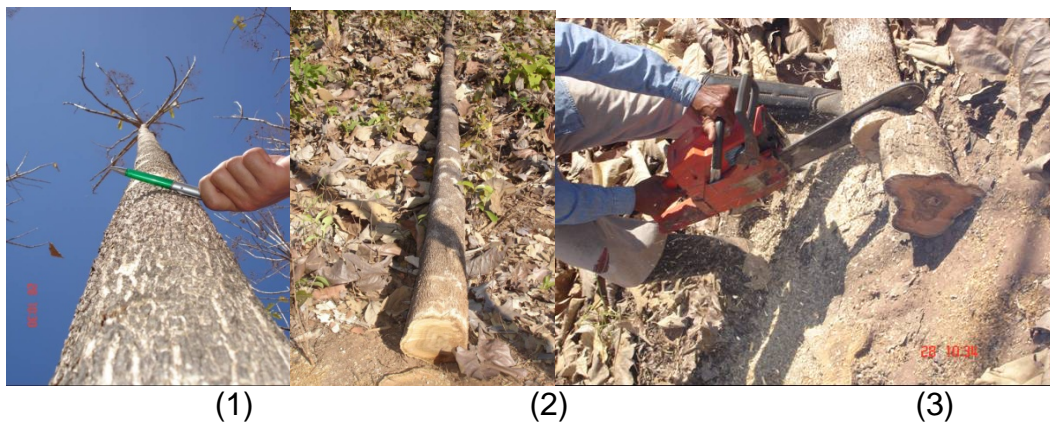
Em cada um dos talhões foram alocadas cinco parcelas permanentes de, aproximadamente, 1200 m² (60 x 20 m). Em cada parcela

foi medido o diâmetro (*dap*) de todas as árvores e a altura total das 15 primeiras árvores. Os dados de diâmetro foram agrupados em classes de *dap* com amplitude de 2,0 cm.

2.2. Análise completa do tronco e classificação da capacidade produtiva

Em cada parcela foi selecionada uma árvore dominante para a análise completa de tronco. Essa árvore foi abatida, e foram retirados discos de madeira de mais ou menos 3 cm de espessura nas posições 0,3 m (altura de corte), 1,3 m, 3,3 m e, assim, a cada 2 m, até a altura onde o diâmetro com casca fosse de cerca de 6 cm. No total, foram abatidas 32 árvores para análise completa do tronco, sendo a seqüência das operações para efetuar a retirada dos discos ilustrada na Figura 1.

Os discos de madeira foram identificados com o número da parcela e a altura do fuste na qual foi retirado. A identificação foi feita em uma das faces do disco com caneta de retroprojeter e por meio de uma placa metálica pregada na lateral do disco, a fim de garantir maior segurança na identificação dos discos (Figura 2).



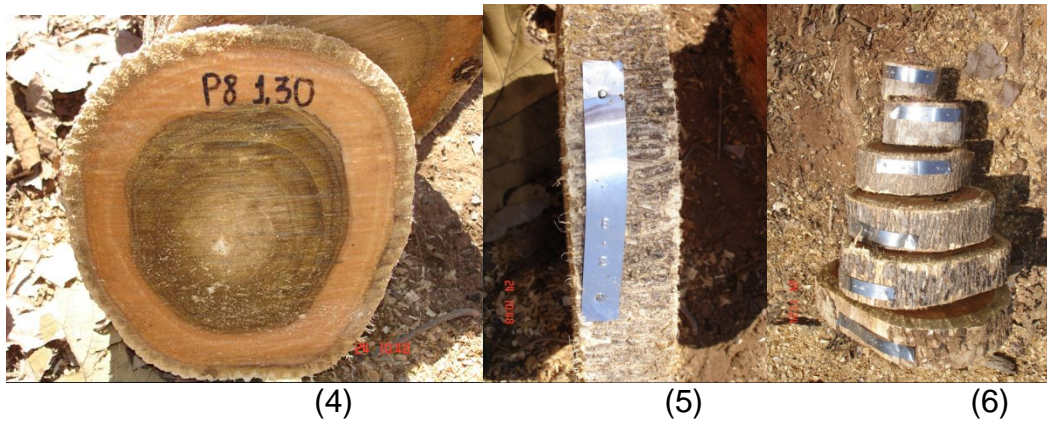


Figura 1 – Seqüência de atividades para coleta de dados para análise completa do tronco. (1) escolha da árvore dominante (2) derrubada da árvore dominante (3) retirada do disco (4) identificação do disco com caneta de retroprojctor (5) identificação do disco com placa metálica (6) discos de uma árvore dominante devidamente identificados.

Fotos: CVA, 2008.



Figura 2 – Identificação dos discos de madeira. Fotos: CVA, 2008.

Os discos foram avaliados em duas posições ortogonais para a contagem dos anéis. Cada anel equivale a um ano de crescimento e foi medido com um régua transparente. Uma lupa foi utilizada para facilitar a visualização dos anéis de crescimento (Figura 3).

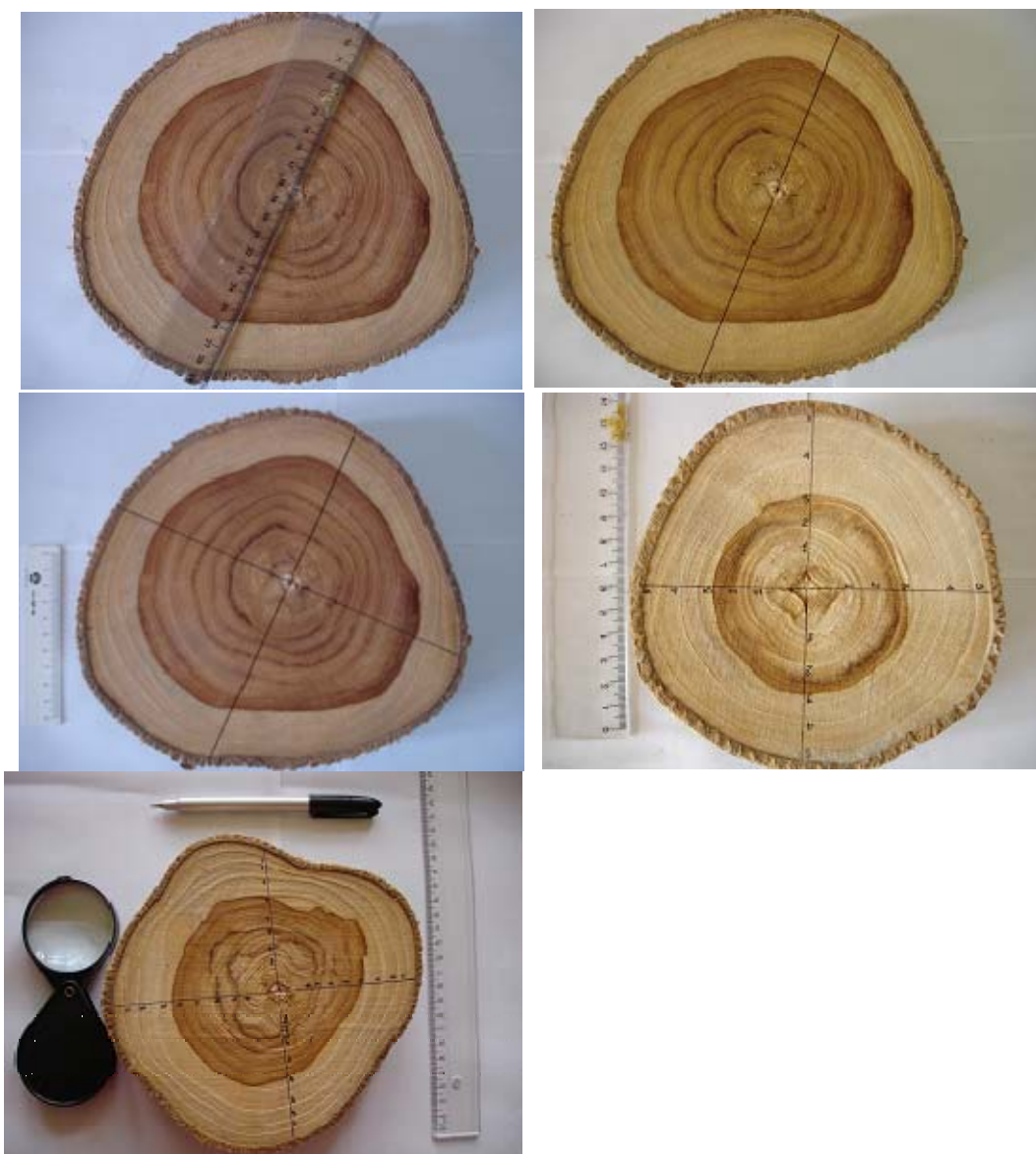


Figura 3 – Ilustração do procedimento para medição dos anéis de crescimento em cada disco. Fotos: Marco A. Monte, 2008.

Após a obtenção do raio de cada anel de crescimento, foram feitos desenhos do afilamento do fuste cada uma das 32 árvores, sendo obtida a altura dessas árvores em cada idade (Anexo 1). Uma ilustração deste procedimento foi apresentada por Campos e Leite (2009), sendo reproduzida na Figura 4. Conforme ilustrado nessa figura, por meio da

análise completa foram determinados os pares de altura e idade para cada árvore dominante.

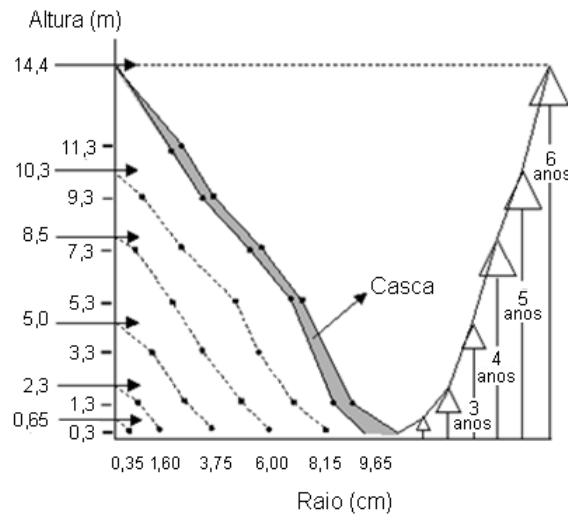


Figura 4 - Representação do crescimento em altura de uma árvore aos 6 anos de idade, com dados de análise completa do tronco. Fonte: Campos e Leite (2009).

Os dados de altura dominante, obtidos por meio da análise completa, estão representados na Figura 5. Esses dados foram utilizados para ajuste do modelo Logístico, visando a classificação da capacidade produtiva. Para identificação das alturas de cada árvore dominante, nas diferentes idades, foi seguida a metodologia descrita em Clutter et al. (1983) e em Campos e Leite (2009). O método empregado para construção das curvas de índices de local foi o da curva-guia, conforme Clutter et al. (1983), utilizando uma idade-índice de 84 meses.

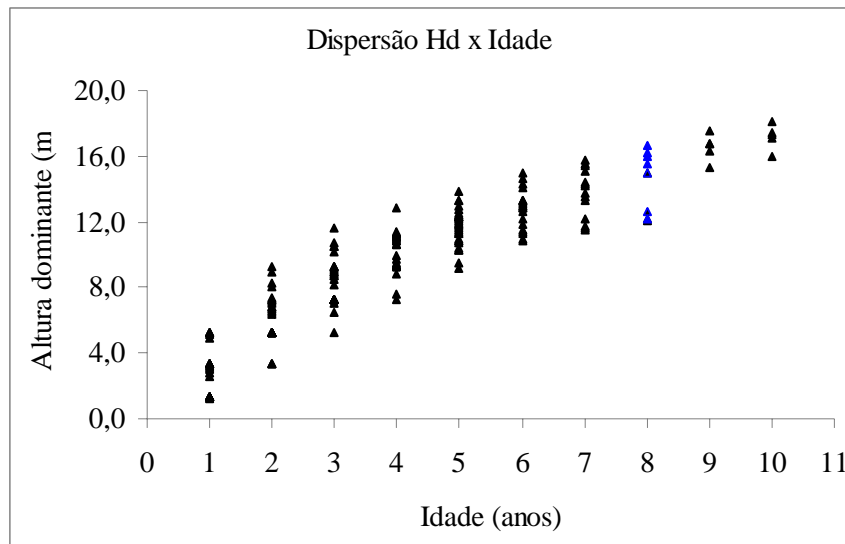


Figura 5 - Dispersão da altura dominante (Hd) e Idade (I) de árvores de *Tectona grandis*, em Santo Antonio do Leverger, MT. Os pontos destacados (em azul) representam a variação de Hd na idade-índice.

Foram geradas curvas e tabelas de índices de local e estimados os índices de cada parcela, com base na medição feita em 2008. Esses índices de local por parcela foram posteriormente utilizados nos ajustes de modelos de crescimento e produção.

Os dados de altura de outras árvores dominantes, observados em parcelas mensuradas em inventários feitos em 2008 e em 2009, nos oito compartimentos, foram plotados sobre as curvas de índices de local para verificar a consistência da classificação feita com dados de análise de tronco.

2.3. Análise parcial de tronco e modelagem de crescimento e produção

Em cada parcela, foram estabelecidas classes de diâmetro (dap) com amplitude de 2 cm, sendo feita a gradagem de duas árvores em cada

uma dessas classes, na altura de 1,3 m. Esta frequência foi estabelecida arbitrariamente porém, toda a amplitude de distribuição de diâmetros de cada parcela foi observada e considerada na seleção das árvores, procurando seguir a distribuição de diâmetros do povoamento. As amostras (cores) retiradas com o trado foram coladas em recipientes de madeira com espaço para quatro cores. A identificação foi feita no próprio recipiente de madeira, sendo escrito o número da parcela, o número da árvore e a classe de *dap*. As amostras foram enroladas em um jornal e armazenadas na geladeira para evitar a ocorrência de fungos. A seqüência de operação para efetuar a retirada do core encontra-se na Figura 6 e um exemplo de medição dos anéis de crescimento é apresentado na Figura 7.

A medição dos anéis de crescimento foi feita utilizando uma régua transparente, graduada em milímetros, sendo os dados obtidos utilizados para computar a área basal e o volume de cada parcela nas diferentes idades reconstituídas.

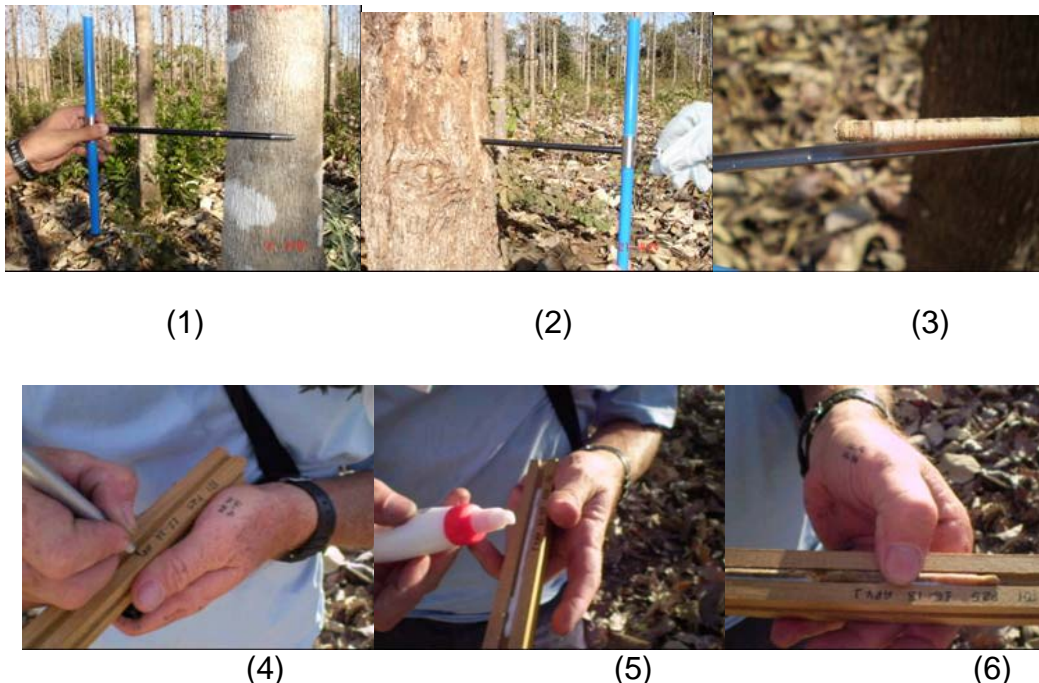


Figura 6 – Seqüência de atividades para coleta de dados para análise parcial do tronco. (1) marcação do tamanho do fuste a ser tradado (2) tradagem da árvore (3) core retirado com a tradagem (4) identificação da peça de madeira com caneta retroprojeter ponta fina (5) distribuição de cola ao longo da

canaleta (6) colagem do core na canaleta com devida identificado. Foto: CVA, 2008.

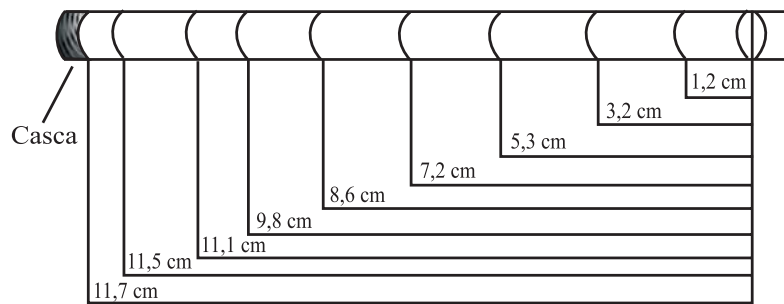


Figura 7 – Esquema de medição dos raios, sem casca, da árvore número 1 do talhão de 10 anos ou outra de idade.

Para estimar os diâmetros com casca em idades anteriores à idade em que foi realizada a análise de tronco, foi ajustado o modelo linear simples $dap_{cc} = \beta_0 + \beta_1 dap_{sc} + \varepsilon$, em que dap_{cc} é o diâmetro com casca e dap_{sc} é o diâmetro sem casca, observado no *core* ou em árvores-amostra abatidas. Esse modelo foi ajustado empregando os dados da análise parcial de tronco e alguns dados complementares obtidos por meio de cubagem rigorosa realizada em outras 138 árvores dos talhões.

As áreas basais de cada parcela, em diferentes idades, foram obtidas ao multiplicar as áreas seccionais médias pelo número total de árvores sobreviventes na ocasião da tradagem.

Para estimar a altura total em idades diferentes daquelas observadas por ocasião da tradagem, foi ajustado o modelo sugerido por Campos e Leite (2009), $H = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \ln(dap_{cc}I) + \beta_3 I + \varepsilon$.

O volume das árvores individuais, em diferentes idades, foi obtido pela equação oriunda do ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933), em sua forma não-linear. Dados para este ajustamento foram obtidos de 138 árvores-amostra abatidas e cubadas pelo método de Smalian, distribuídas em todos os talhões. Os volumes de cada parcela foram obtidos por meio de $V = 10000N\bar{v}.A^{-1}$, sendo V o volume por hectare sem casca, N o número total de árvores da parcela, \bar{v} o volume médio por árvore, em m^3 e A a área da parcela em m^2 .

O modelo de Pienaar e Shiver (1981), proposto originalmente para estimar sobrevivência, foi ajustado para estimar o diâmetro sem casca em idades anteriores, ou posteriores, à idade em que foi feita a tradagem, sendo: $dsc_2 = dsc_1 e^{-\alpha(I_2^\beta - I_1^\beta)} + \varepsilon$, em que dsc_1 é o diâmetro na idade atual e dsc_2 é o diâmetro na idade futura. A equação obtida desse ajustamento, em conjunto com uma equação de altura, uma de volume e uma de sobrevivência em nível de árvore individual, constitui um modelo de árvore individual independente da distância. Esta alternativa de modelagem foi testada neste estudo.

De posse dos dados de volume, área basal e índice de local de cada parcela, na idade em que foi feita a tradagem e em idades anteriores reconstituídas, foi ajustado o modelo de Clutter (1963). Esse modelo foi ajustado em sua forma completa e também na sua forma usualmente empregada no Brasil (Campos e Leite, 2009), aqui denominada *forma usual*. Foi ajustado também o modelo de Buckman (1962).

2.4. Equação de volume

Foi ajustado o modelo de Schumacher e Hall (1933), na sua forma não-linear, $V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} + \varepsilon$, para estimar os volumes comerciais com e sem casca por árvore individual. As amplitudes de diâmetro e altura observadas nos dados empregados para ajuste desse modelo podem ser observadas na Figura 8.

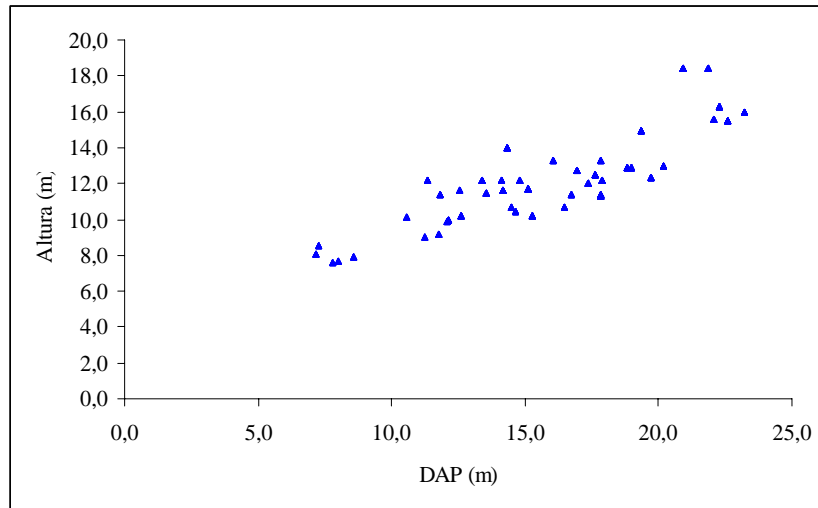


Figura 8 – Relação entre altura total e diâmetro observadas em 138 árvores-amostra de *Tectona grandis* com idades entre 2 e 10 anos.

2.5. Modelagem do crescimento e da produção

Os dados obtidos por meio da análise parcial foram empregados inicialmente para ajuste de um modelo em nível de árvores individuais. Para estimação do diâmetro e da altura por árvore foi empregado o modelo proposto por Pienaar e Shiver (1982). Esse modelo foi originalmente proposto para estimar sobrevivência em nível de povoamento. Neste estudo, a variável frequência por hectare foi substituída pelo *dap* e pela altura total (*Ht*).

De posse da reconstituição dos diâmetros com e sem casca para idades a partir de dois anos, as parcelas foram totalizadas empregando a equação obtida a partir do ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933). Com os dados resultantes foi ajustado o modelo proposto por Clutter (1963), cuja relação funcional completa é:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \ln B + \beta_3 I^{-1} + \beta_4 S \ln B + \beta_5 S I^{-1} + \beta_6 I^{-1} \ln B + \varepsilon$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \ln \varepsilon$$

Em que:

I_1 = idade atual;

I_2 = idade futura;

B_1 = área basal atual;

B_2 = área basal futura;

S_1 = índice de local na idade atual;

Y = Produção esperada; e

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \alpha_0$ e α_1 = parâmetros a serem estimados.

Para seleção das variáveis independentes foi empregado o procedimento *Stepwise*, conforme Drapper e Smith (1981). Foi ajustado também o mesmo modelo de Clutter, porém, na sua forma usualmente empregada para povoamento de eucalipto no Brasil, sendo:

$$\ln Y_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_2 S + \beta_3 \ln B_2 + \ln \varepsilon$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \ln \varepsilon$$

Em que:

I_1 = idade atual;

I_2 = idade futura;

B_1 = área basal atual;

B_2 = área basal futura;

S_1 = índice de local na idade atual;

Y_2 = Produção esperada; e

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \alpha_0$ e α_1 = parâmetros a serem estimados.

Foi ajustado também o modelo de Buckman (1962), modificado por Silva et al. (2000), sendo:

$$\ln Y_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \ln \varepsilon$$

$$\ln dB_2 = \beta_4 + \beta_5 S_1 + \beta_6 I_2^{-1} + \beta_7 B_1 + \varepsilon$$

Em que:

I_1 = idade atual;

I_2 = idade futura;

B_1 = área basal atual;

B_2 = área basal futura;

S_1 = índice de local na idade atual;

dB_2 = incremento em área basal a partir da idade I_1 até a idade I_2 ;

Y_2 = Produção na idade I_2 ;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ e β_7 = parâmetros.

A seleção da melhor alternativa para estimar o crescimento e a produção por unidade de área, foi feita com base na análise de resíduo e nas estatísticas: média das diferenças absolutas (MDA), coeficiente de correlação entre valores observados e valores estimados da variável dependente ($r_{Y\hat{Y}}$), raiz quadrada do erro médio (RQEM), *bias* e *bias%* (Siipilehto, 2000), sendo:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad r_{Y,\hat{Y}} = \frac{\text{Cov}(\hat{Y}, Y)}{\sqrt{V(\hat{Y})V(Y)}} \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-1}}$$

$$\text{bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) \quad \text{bias}_{\%} = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Y_i - \hat{Y}_i) / Y_i]$$

em que:

Y_i e \hat{Y}_i = valores observado e estimado da variável sob análise;

e_i = erro relativo de predição;

n = número de casos;

De posse do modelo selecionado foram feitas simulações de crescimento e de aplicação de desbaste. Foram elaboradas também tabelas e curvas de produção.

O emprego do modelo de árvores individuais foi demonstrado com aplicação de um desbaste e as relações funcionais desse modelo foram:

$$dap_2 = dap_1 e^{-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})} + \varepsilon$$

$$Ht_2 = e^{\beta_0 + \beta_1 / (dap_2 \cdot I_2)} + \varepsilon$$

$$Dcc = \beta_0 + \beta_1 dsc + \varepsilon$$

em que: dcc e dsc são os diâmetros com e sem casca a 1,3 m de altura e as demais variáveis conforme já definidas.

Foi assumida uma sobrevivência de 100% uma vez que a projeção foi realizada após um primeiro desbaste já efetuado e sob a pressuposição de que a mortalidade regular será antecipada pela aplicação de um segundo desbaste. Esta decisão se baseou em considerações de Campos e Leite (2009). Conforme esses autores, para um único espaçamento e regime de corte, taxas de mortalidade insignificantes podem ser ignoradas quando da modelagem em nível de árvores.

3. Resultados e Discussão

3.1. Curvas de índices de local

Com base nas análises estatísticas efetuadas e na consistência observada quando os dados de altura de outras árvores dominantes foram plotados sobre as curvas construídas, o modelo Logístico foi considerado adequado para propósito de construção de curvas de índices de local para o povoamento amostrado. A partir da equação estimada, $Hd = 15,343068(1 + 5,98063e^{-0,614544.I})$, com $R_{\hat{Y}\hat{Y}} = 0,859$, empregando uma idade-índice de 84 meses, obteve-se :

$$Hd = S_1(1 + 5,98063e^{-0,614544(7)}) (1 + 5,98063e^{-0,614544.I})^{-1} . R^2 = 0,878$$

Essa última expressão foi utilizada para construir as curvas de índices de local apresentadas na Figura 9 e na Tabela 2, com os limites de altura dominante por índice de local. A partir de transformação desta expressão foram determinados os índices de local para cada parcela e idade.

Dados de altura de árvores dominantes mensuradas no inventário contínuo realizado em 2008 e em 2009 foram plotados sobre estas curvas, resultando na Figura 9. Esta análise foi feita para verificar a eficiência das curvas geradas com os dados de análise de tronco, e a consistência com as alturas medidas nos dois inventários. Maior consistência é observada após a idade de 4 anos.

Entre as idades de 5 e 11 anos foram observados poucos dados na classe de maior produtividade. Apesar disso, a classe 1 foi mantida com índices de local 17, 18 e 19, uma vez que, para aplicações futuras, a expectativa é de ocorrência desses índices, uma vez que os mesmos foram observados em algumas parcelas na ultima medição. Ao contar com três medições das parcelas permanentes de área fixa, as curvas de índices de local poderão ser substituídas por novas curvas, a serem geradas apenas com dados das mesmas. Essa atualização poderá ser ampliada com a inclusão de dados de outros povoamentos, de modo que sejam mais representativas de todos os locais.

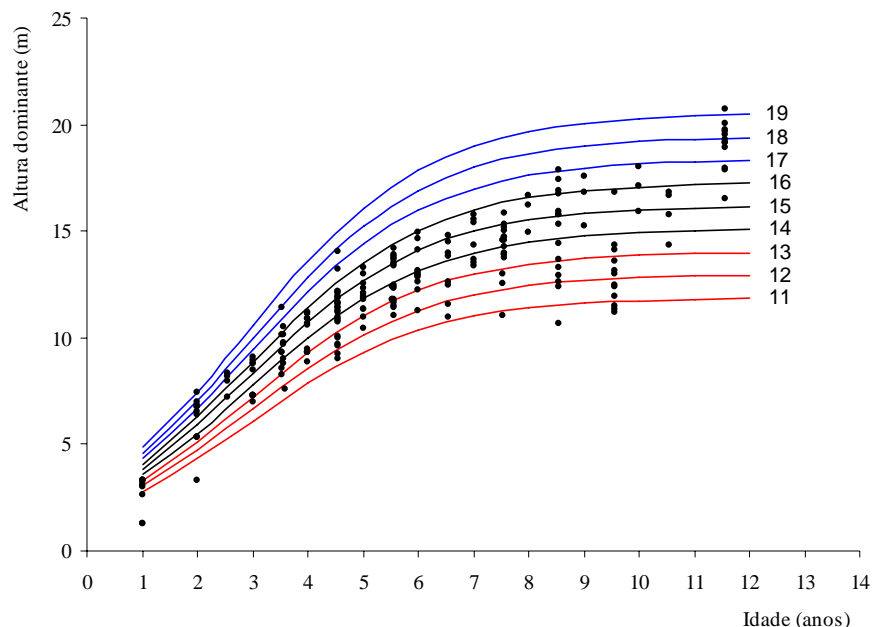


Figura 9. Curvas de índices de local para *Tectona grandis* no município de Santo Antônio do Leverger – MT (idade-índice = 7 anos) e alturas dominantes observadas em inventários feitos em 2008 e 2009.

Tabela 2. Limites de altura dominante por índice de local em diferentes idades, para *Tectona grandis* no município de Santo Antônio do Leverger – MT.

Idade (anos)	Classe de Local						
	III		II		I		
1	Hd <=	3,45	3,45	< Hd <=	4,21	Hd >	4,21
2	Hd <=	5,31	5,31	< Hd <=	6,49	Hd >	6,49
3	Hd <=	7,50	7,50	< Hd <=	9,16	Hd >	9,16
4	Hd <=	9,65	9,65	< Hd <=	11,80	Hd >	11,80
5	Hd <=	11,43	11,43	< Hd <=	13,97	Hd >	13,97
6	Hd <=	12,69	12,69	< Hd <=	15,51	Hd >	15,51
7	Hd <=	13,50	13,50	< Hd <=	16,50	Hd >	16,50
8	Hd <=	13,98	13,98	< Hd <=	17,09	Hd >	17,09
9	Hd <=	14,26	14,26	< Hd <=	17,42	Hd >	17,42
10	Hd <=	14,41	14,41	< Hd <=	17,61	Hd >	17,61
11	Hd <=	14,49	14,49	< Hd <=	17,71	Hd >	17,71
12	Hd <=	14,54	14,54	< Hd <=	17,77	Hd >	17,77

3.2. Modelos de crescimento e produção

As equações ajustadas para estimar os diâmetros com casca em função dos respectivos diâmetros sem casca, obtidos da análise de tronco, são apresentados na Figura 10. Nessa mesma figura é apresentada a análise de resíduos das estimativas obtidas pela equação hipsométrica.

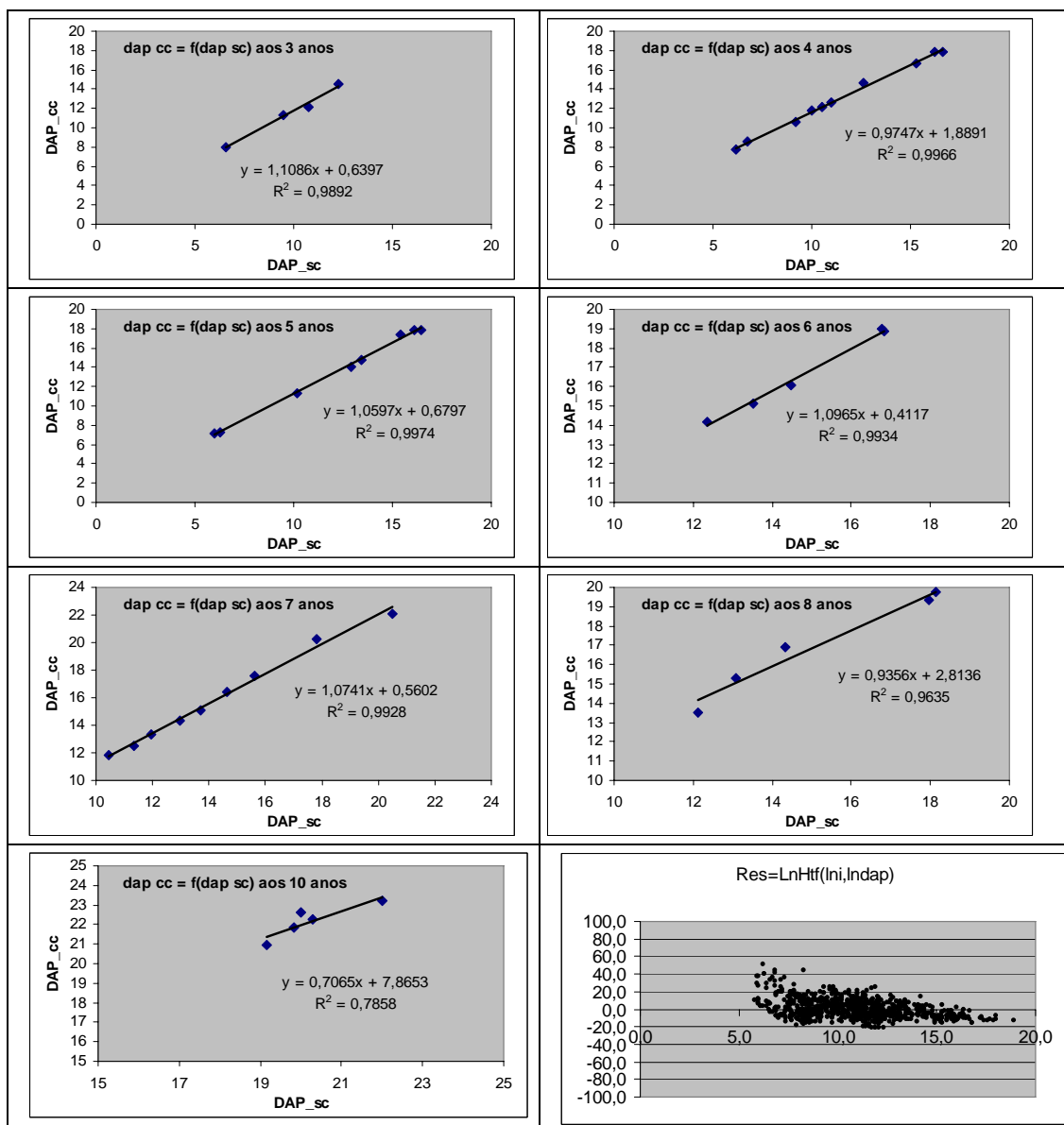


Figura 10. Equações ajustadas para estimar o diâmetro com casca a 1,3 m de altura, para dados de análise de tronco reconstituídos.

As equações ajustadas e empregadas para totalização das parcelas mensuradas em 2008 e reconstituídas para as idades anteriores foram:

$$LnHt = 0,488782 + 0,177262 LnI + 0,512388 Lndap, R^2_{\hat{Y}} = 0,814.$$

$$V_{cc} = 0,0000654758 dap^{1,71506} Ht^{1,05047}, R^2_{\hat{Y}} = 0,986$$

$$V_{sc} = 0,0000613332 dap^{1,72334} Ht^{1,05786} R^2_{\hat{Y}} = 0,982$$

$$dap_2 = dap_1 e^{-9,969526 \left(I_2^{-0,143675} - I_1^{-0,143675} \right)} \quad (R^2_{Y\hat{Y}} = 0,978)$$

em que:

Ht= Altura total

I = idade;

Dap = Diâmetro na altura do peito;

Vcc= Volume co casca;

Vsc = Volume sem casca;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ e β_7 = parâmetros a serem estimados.

Nenhum tipo de viés foi observado ao aplicar estas equações aos dados do inventário de 2008 e, principalmente, ao aplicar aos próprios dados empregados no ajuste (dados de análise de tronco).

De posse das parcelas reconstituídas foram ajustados os modelos de Clutter e de Buckman, sendo obtidas as estatísticas apresentadas na Tabela 3. Ao comparar essas estatísticas com resultados de ajustamentos feitos para outros gêneros, como o *Eucalyptus*, os resultados obtidos com dados reconstituídos podem ser considerados como satisfatórios.

Tabela 3 - Estatísticas estimadas para os modelos de Clutter e de Buckman, empregando dados de análise de tronco de árvores de *Tectona grandis*.

Estatística	Clutter na forma usual	Buckman	Clutter completo
e	0,04	0,11	0,08
r_{yy}	0,99	0,99	0,98
RMSE	6,60	8,16	15,34
bias	-0,04	0,11	-0,08
bias%	-0,94	0,66	-4,96

3.3. Modelo de Clutter usual

Empregando o software *Statistica 7.0*, e o método de mínimos quadrados em dois estágios, foram estimadas as duas equações a seguir, com $p < 0,01$ para todos os coeficientes:

$$\ln(V) = 1,437990 - 14,8093 * \left(\frac{1}{I_2}\right) + 0,014842 * S_1 + 1,080902 * \ln B_2$$

$$\ln(B_2) = \ln(B_1) \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 2,458695 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + 0,057271 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) S_1$$

A qualidade do ajustamento do sistema de equações anterior pode ser observada nas Figuras 11 e 12.

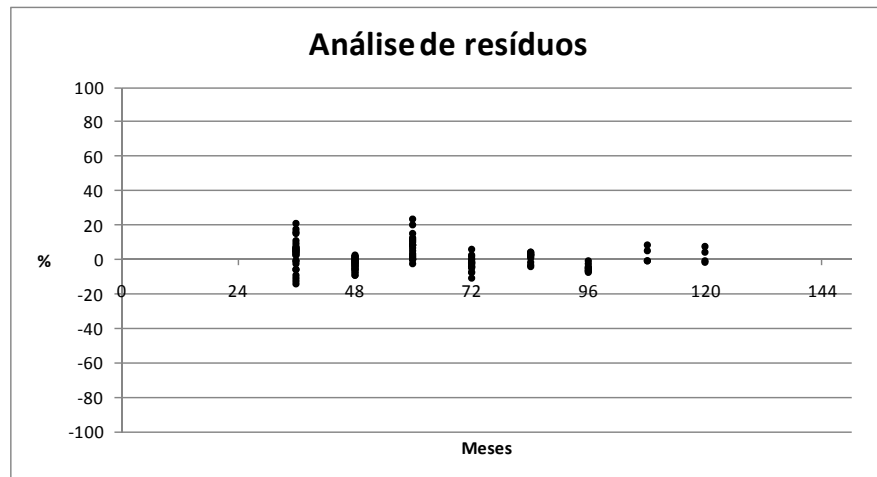


Figura 11. Análise dos resíduos ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) do volume estimado pelo modelo de Clutter na sua forma usual em função da idade.

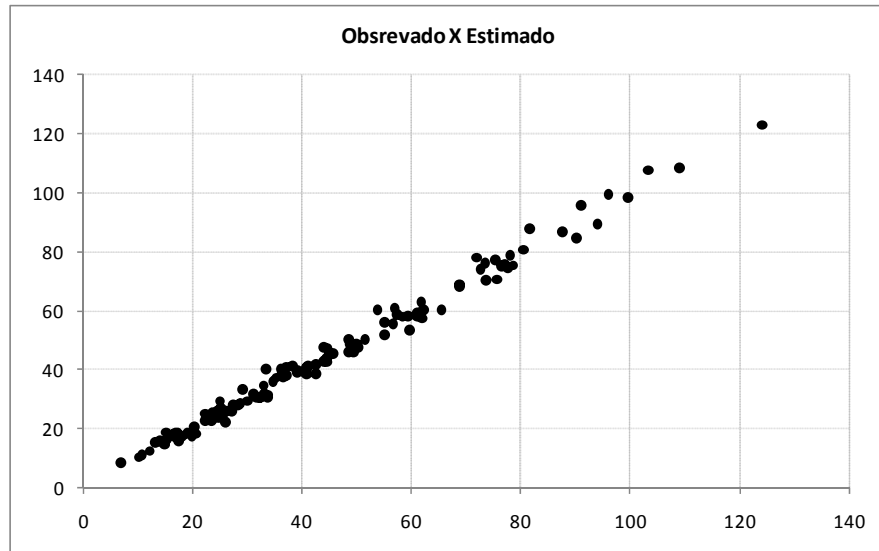


Figura 12. Gráfico de dispersão do volume estimado pelo modelo de Clutter na sua forma usual em função do volume observado.

3.4. Modelo de Buckman

O modelo de Buckman também foi gerado através do software *Statistica 7.0*. O resultado obtido com este modelo foi ligeiramente inferior ao resultado obtido com o modelo de Clutter em sua forma usual (Figuras 13 e 14) e as equações estimadas foram:

$$\ln(V) = 1,437990 - 14,8093 * \left(\frac{1}{L_2}\right) + 0,014842 * S_1 + 1,080902 * \ln B_2$$

$$\ln \Delta B_2 = -0,032935 + 20,46248 * \left(\frac{1}{L_2}\right) + 0,007313 * S_1 + 0,93847 * \ln B_1$$

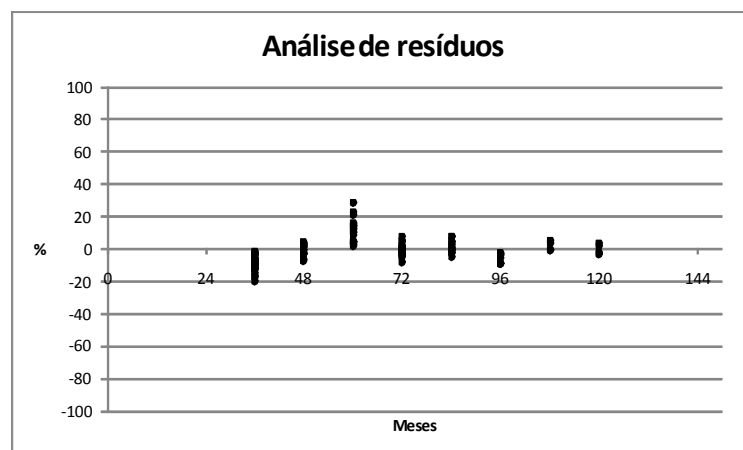


Figura 13. Análise dos resíduos $(100(\hat{V} - V)V^{-1})$ do volume estimado pelo modelo de Buckman em função da idade.

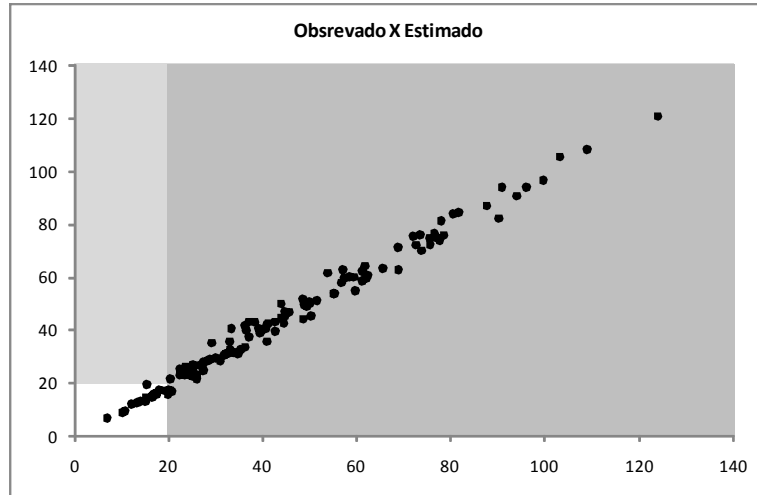


Figura 14. Gráfico de dispersão do volume estimado pelo modelo de Buckman em função do volume observado.

3.5. Modelo de Clutter na sua forma original

Para fins de comparação e de uma análise estatística mais precisa, o modelo de Clutter foi ajustado, também, na sua forma completa, aqui denominada de forma original. O software empregado para ajuste pelo método de mínimos quadrados em dois estágios foi o *Statistica 7.0* (StatSoft, INC, 2008) e o sistema de equações estimadas foi:

$$\ln(V) = 1,569947 - 0,021958 \cdot S_1 + 0,873387 \cdot \ln B_2 - 10,3426 \cdot \left(\frac{1}{I_2}\right) + 0,006566 \cdot S \cdot \ln B_2 - 1,28082 \cdot S_1 \cdot \left(\frac{1}{I_2}\right) + 7,03580 \cdot \left(\frac{1}{I_2}\right) \cdot \ln B_2$$

$$\ln(B_2) = \ln(B_1) \left(\frac{I_1}{I_2}\right) + 2,458695 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + 0,057271 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) S_1$$

Apesar do modelo em sua forma original conter um maior número de variáveis explicativas, não houve ganho de exatidão em comparação ao modelo na forma usualmente empregada no Brasil (Figuras 14 e 15).

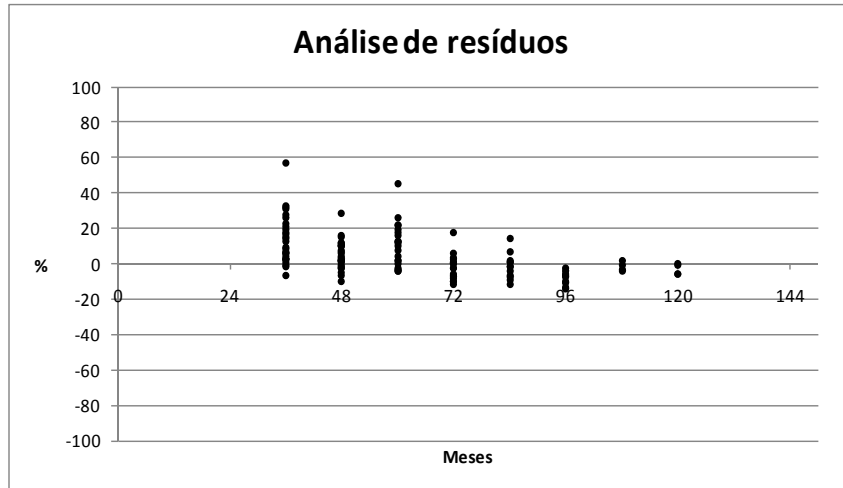


Figura 15. Análise dos resíduos ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) do volume estimado pelo modelo de Clutter original em função da idade.

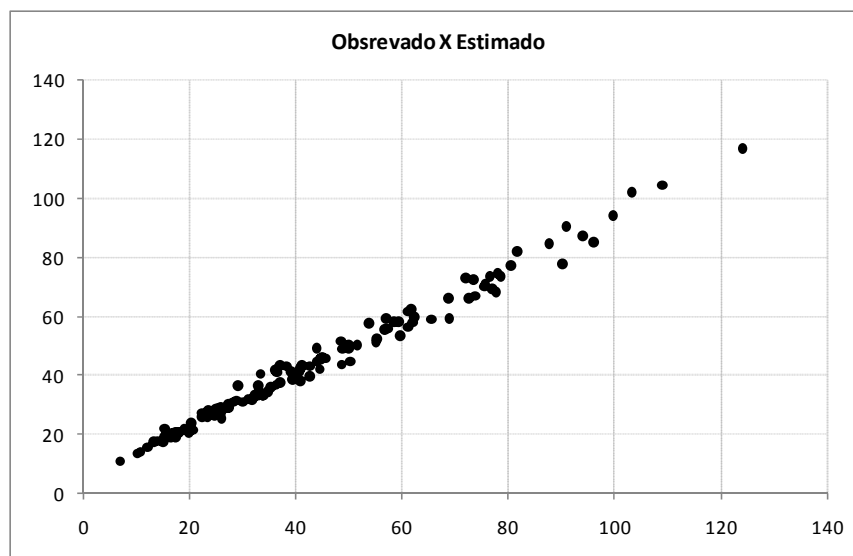


Figura 16. Gráfico de dispersão do volume estimado pelo modelo de Clutter original em função do volume observado.

3.6. Modelo de árvores individuais (MAI)

As equações estimadas em nível de árvore individual, que resultaram em um modelo de árvores individuais, foram:

$$Ht_2 = e^{2,5998-11,065101(I_2dap_2)^{-1}}$$

$$dap_2 = dap_1 e^{-9,969526 \left(I_2^{-0,143675} - I_1^{-0,143675} \right)}$$

$$V_{cc} = 0,0000654758 dap^{1,71506} Ht^{1,05047}, R^2_{Y\hat{Y}} = 0,986$$

$$V_{sc} = 0,0000613332 dap^{1,72334} Ht^{1,05786} R^2_{Y\hat{Y}} = 0,982$$

A mortalidade regular não foi considerada na modelagem, uma vez que a análise de tronco é efetuada em árvores vivas na idade atual. Conforme Campos e Leite (2009), ao empregar a análise de tronco não há como saber qual foi a mortalidade nos anos anteriores. Além disso, como foram aplicados desbastes seletivos nas áreas e, com base nos inventários de 2008 e 2009, a mortalidade realmente foi insignificante no povoamento. As estimativas de diâmetro e altura obtidas com as equações anteriores foram precisas e livres de tendenciosidade (Figura 17).

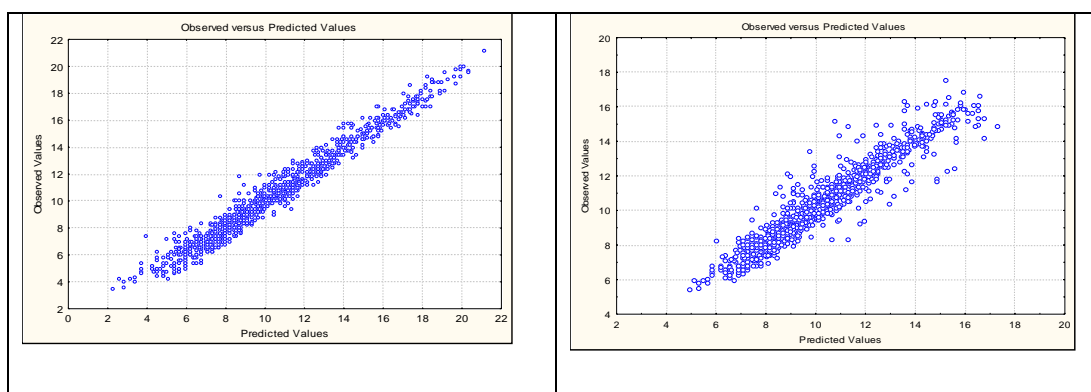


Figura 17 - Dispersão do *dap* e da altura estimada em função do *dap* e da altura observada.

Ao analisar os resultados da modelagem verifica-se que o emprego do modelo de Clutter na sua forma completa ou reduzida pode resultar em diferentes exatidões. Os resultados comprovam a possibilidade de emprego de dados de análise de tronco para modelagem de crescimento e

produção, seja em nível de povoamento ou em nível de árvores individuais. Cabe lembrar que ao empregar um modelo de árvores individuais, se possível, é importante modelar o componente mortalidade. Nesse estudo, os resultados obtidos com o modelo de Clutter na sua forma usual foram ligeiramente melhores do que os resultados obtidos com o modelo na sua forma originalmente proposta por Clutter (1963).

Com os resultados deste estudo, fica confirmada a possibilidade de estimar crescimento e produção de povoamentos de teca empregando dados de análises completa e parcial de tronco. Estas análises devem ser empregadas em situações onde não existirem dados de parcelas permanentes, com a vantagem de obter dados de várias idades a partir de uma única amostragem feita numa idade atual.

3.7. Validação

Os modelos ajustados foram aplicados para projetar as parcelas permanentes, de 2008 para 2009. Os resultados dessas projeções foram comparados com os correspondentes volumes observados em 2009, nas parcelas permanentes instaladas em 2008 e medidas nos dois anos consecutivos. Nas Figuras 19 a 20 são apresentados os erros percentuais do volumes projetados pelos modelos, bem como o resultado da validação cruzada (volume real versus volume estimado).

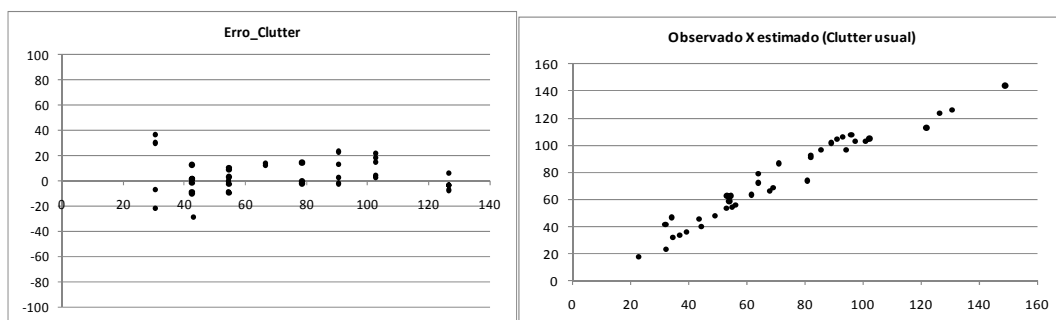


Figura 18 - Gráficos de resíduo ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) e de dispersão do volume estimado pelo modelo de Clutter usual em função do volume observado no IFC 2009.

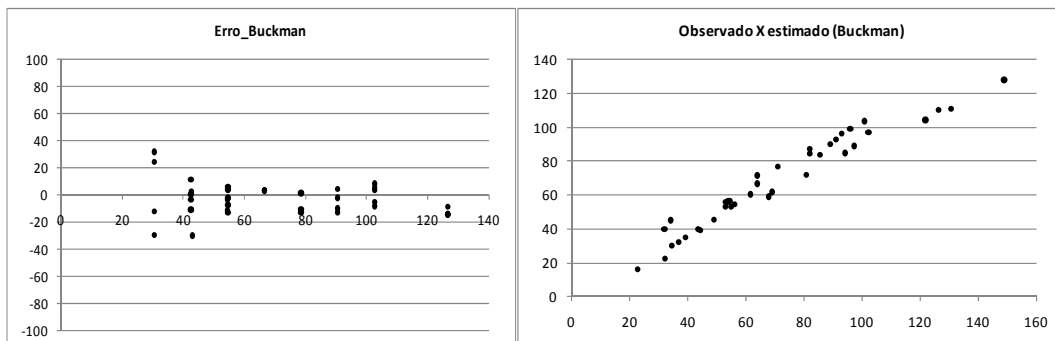


Figura 19- Gráficos de resíduo ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) e de dispersão do volume estimado pelo modelo de Buckman em função do volume observado no IFC 2009.

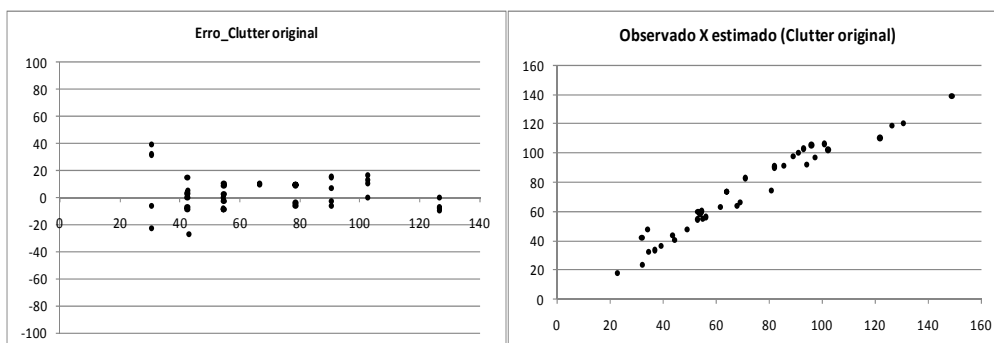


Figura 20 - Gráficos de resíduo ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) e de dispersão do volume estimado pelo modelo de Clutter original em função do volume observado no IFC 2009.

Na Figura 21 consta a análise gráfica dos resíduos e a validação cruzada para as estimativas obtidas com o modelo de árvores individuais. Cabe lembrar que esse modelo de árvores individuais é na verdade um modelo incompleto, uma vez que a mortalidade não foi modelada em função do tipo de dado disponível e das justificativas apresentadas neste estudo. Os ajustes foram feitos apenas para verificar inicialmente a possibilidade de emprego desse tipo de modelo em povoamentos de teca.

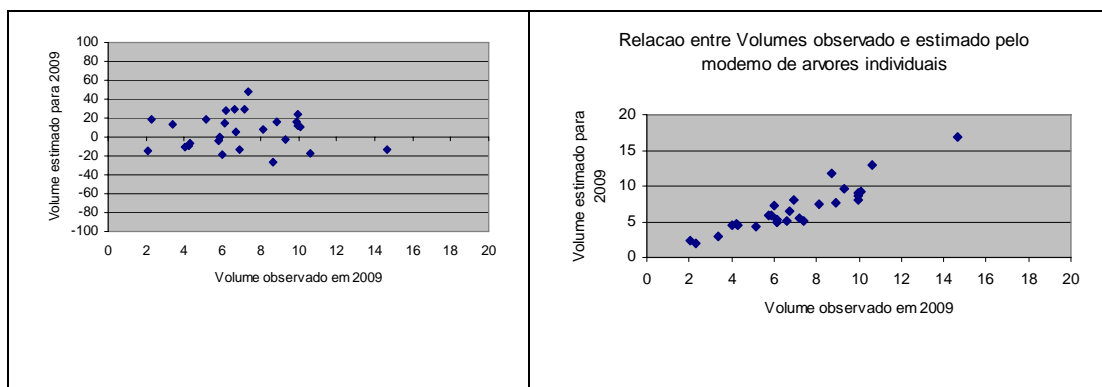


Figura 22 – Resíduos percentuais ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) e gráficos de validação das projeções feitas de 2008 para 2009, empregando o modelo de árvores individuais.

Os erros percentuais médios obtidos a partir das estimativas geradas pelos modelos ajustados (Tabela 6), ao projetar o IFC de 2008 para 2009, foram relativamente baixos quando comparados a resultados divulgados para outras espécies e gêneros. Uma tendência de superestimação do volume em 2009 foi observada ao empregar o modelo de árvores individuais.

Tabela 6 - Média dos erros percentuais ($100(\hat{V} - V)V^{-1}$) obtidas pela aplicação dos modelos ajustados e aplicados para projetar os volumes das parcelas permanentes de 2008 para 2009

Modelo	Média dos erros percentuais (%)
Clutter usual	-6,9803
Clutter original	-7,5548
Buckman	-1,7254
MAI	+5,70%

Os modelos de Clutter, na suas formas original (completo) e usual (reduzido), e o modelo de Buckman, foram aplicados para projeção de uma área basal inicial de $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, observada aos 48 meses e índice de local médio (Tabela 8). O modelo de Buckman resultou em inconsistência, uma vez que o incremento médio anual foi sempre crescente. Assim, apesar das estatísticas de ajuste terem sido semelhantes àquelas obtidas com o

modelo de Clutter, o modelo de Buckman não é recomendado para o povoamento amostrado.

Tabela 8 – Projeções de volume e incrementos médios obtidos pela aplicação dos modelos de Clutter e de Buckman, a partir de uma área basal média de $6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ observada aos 48 meses e um índice de local médio

Idade	Clutter usual		Clutter completo		Buckman	
	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$
48	26,42	6,60	22,51	5,63	26,42	6,60
60	38,60	7,72	32,55	6,51	37,37	7,47
72	49,70	8,28	41,26	6,88	48,65	8,11
84	59,54	8,51	48,67	6,95	60,33	8,62
96	68,17	8,52	54,97	6,87	72,49	9,06
108	75,74	8,42	60,35	6,71	85,23	9,47
120	82,40	8,24	64,98	6,50	98,64	9,86
132	88,28	8,03	68,98	6,27	112,81	10,26
144	94,90	7,91	71,62	5,97	127,80	10,65

4. Conclusões

Com base nos resultados do estudo pode ser concluído que:

A análise de tronco em árvores de *Tectona grandis* é uma alternativa eficiente para obter dados visando estudos de crescimento e produção desta espécie no Brasil. Resultando em uma excelente possibilidade em plantios adultos em diferentes idades, para valoração dos ativos existentes onde não existem informações em bancos de dados sobre o povoamento.

Dados de análise completa de tronco podem ser empregados com eficiência para construção de curvas de índices de local para *Tectona grandis* no Brasil.

O modelo de Buckman não deve ser empregado para manejo do povoamento.

O modelo de Clutter pode ser empregado tanto na sua forma usual quanto na sua forma original (completa).

Dados de análise parcial de tronco podem ser utilizados para modelagem em nível de árvores individuais.

5. Referências Bibliográficas

Bailleres, H., Durang, P. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessments of plantation-grown teak. *Bois et Forest des Tropiques* 263(1):17-27.

Bermejo, I., Cañellas, I, San Miguel, A. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189: 97-110.

Bhat, K.M. 1995. A note on heartwood proportion and wood density of 8-year-old teak. *Indian Forester* 121(6): 514-516.

BUCKMAN, R. E. Growth and yield of red pine in Minnesota. Washington: U.S. Department Agriculture, 1962, 50p. (*Technical Bulletin*, 1272).

Camacho, P., Madrigal, T. 1997. Ecuaciones de volumen preliminares para *Tectona grandis*. III Congreso Forestal nacional. 12-29 de Agosto. San José, Costa Rica. 131-133 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 470 p.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest Science*, v.9, n. 4, p.354-371, 1963.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENNAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAYLEY, R. L. *Timber management : a quantitative approach*. New York: Jonh Wiley & Sons, 1983. 333 p.

Cruz, J.P. Crescimento e produção de *Tectona grandis* na região de Tangará da Serra – Mato Grosso. 2005, 51f. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DRESCHER, R. *Crescimento e produção de tectona grandis Linn F. em povoamentos jovens de duas regiões do estado do Mato Grosso – Brasil*. 2004, 133f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* Linn.F.) natural distribution and related factorors. Águas de São Pedro, IUFRO, 1980. 20p.

Kumar, B.M., Long, J.N., Kumar, P. 1995. A density management diagram for teak plantations of Kerala in peninsular India. *Forest Ecology and Management* 74:125-131.

LAMPRECHET, H. *Silvicultura nos trópicos*. Berlim. Eschborn. GTZ. 1990. 343p.

Långström, B., Helqvist, C. 1991. Effects of different pruning regimes on growth and sapwood area of Scots pine. *Forest Ecology and Management* 44: 239-254.

MAHAPHOL, S. Teak in Thailand. Ministry of Agriculture-Royal Forest Departament, nºR16. *Thailand* 1954. 30p.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. Brasília: ANEEL, 2000. 144 p.

Nunifu, T.K., Murchinson, H.G. 1999. Provisional yield models of teak (*Tectona grandis*).

PÉREZ, D. *Stand growth scenarios for Tectona grandis plantations in Costa Rica*. Department of Forest Ecology. Faculty of Agriculture and Forestry. University of Helsinki, 2005 (dissertation). 77 p.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. *Southern Journal Forestry*, v. 5, n.2, p.59-62, 1981.

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F.S. Logaritmik expression of timber volume. *Journal of Agricultural Research*, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SINGH, P. Total tre volume table for *Tectona grandis*. *Ind. For.* Vol 107. n. 10, 1981.

SIIPILEHTO, J. 2000. A Comparison of Two Parameter Prediction Methods for Stand Structure in Finland. *Silva Fennica* 34(4): 331–349.

STREETS, R.J. Exotic forest trees in the British Commonwealth. Oxford, G.B., Clarendon Press. 1962. 750p.

TEWARI, D.N. Monograph on Teak (*Tectona grandis* Linn. F.). Dehra Dun - India, 1999. 478p.

TORRES, L.A. 1982. Influencia del sitio y la espesura en el crecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Caparo, Venezuela. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida. 67 p.

Torres, G., Luján, R., Pineda, M. 1995. Diagnóstico técnico del proceso de producción forestal en plantaciones a pequeña escala en Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación Bosque - Industria, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 105 p.

Trockenbrodt, M., Josue, J. 1998. Wood properties and utilization potential of plantation teak (*Tectona grandis*) in Malaysia – A critical review. *Journal of Tropical Forest Products*, 5(1): 58-70.

WHITE, K.J. Teak: Some aspects of research and development. FAO Regional Office for Asia and the Pacific (*RAPA*), 1991. 53 p. (Publication 1991/17).

Anexo 1: Perfis de 32 árvores-amostra de *Tectona grandis*, obtidos com dados de análise completa de tronco.

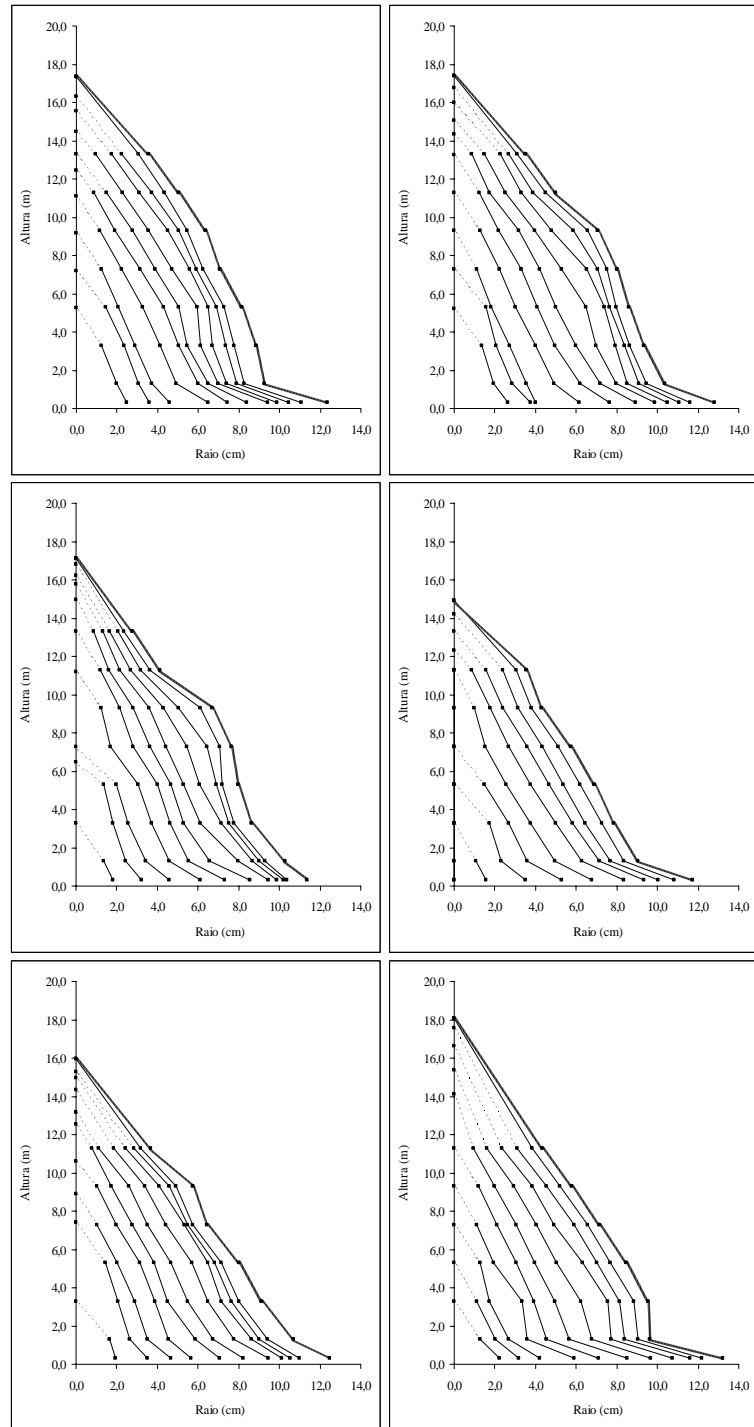


Figura 11 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 10 anos obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.

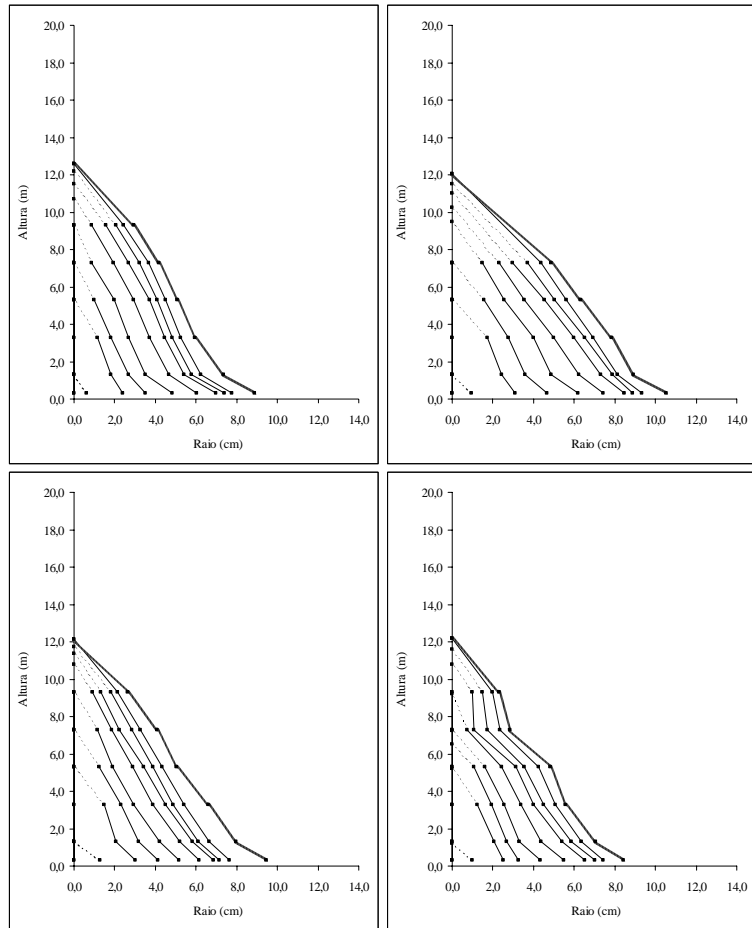


Figura 12 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 8 anos de idade obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.

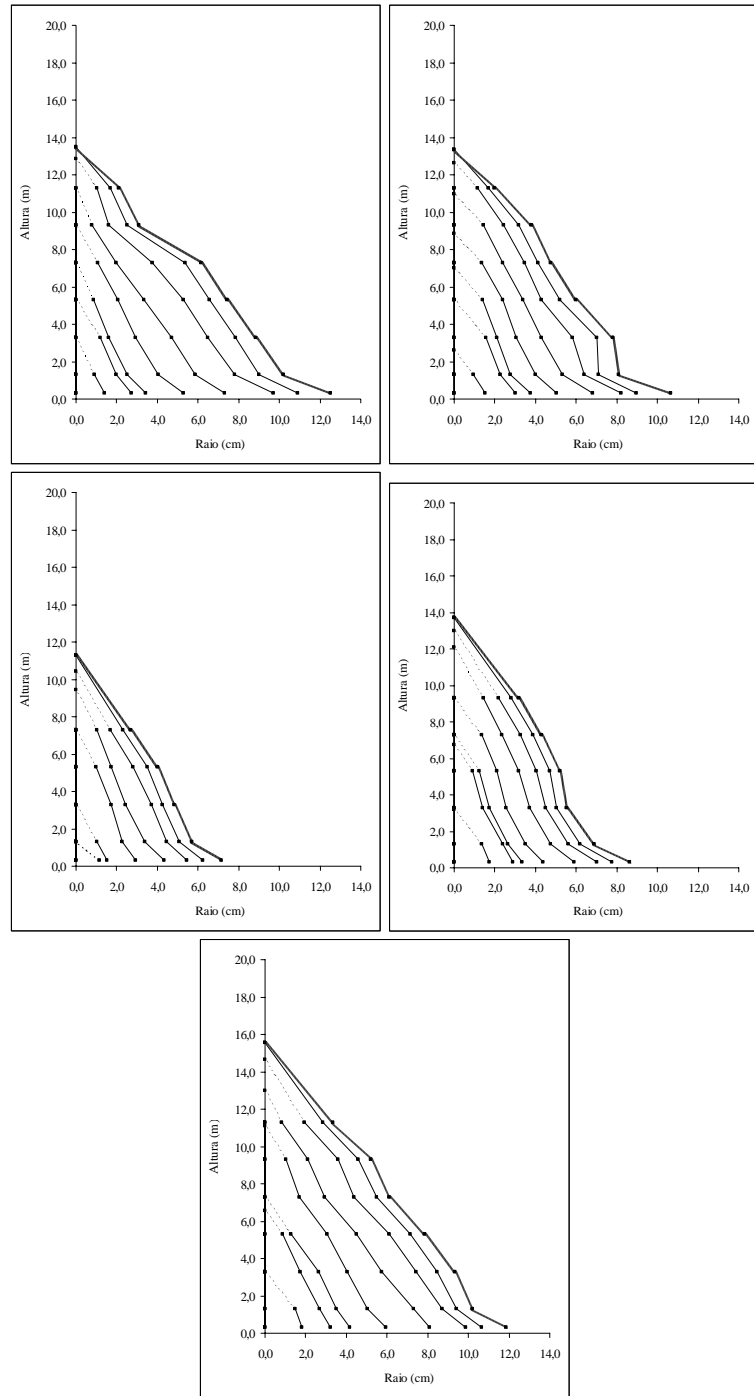


Figura 13 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 7 anos de idade obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.

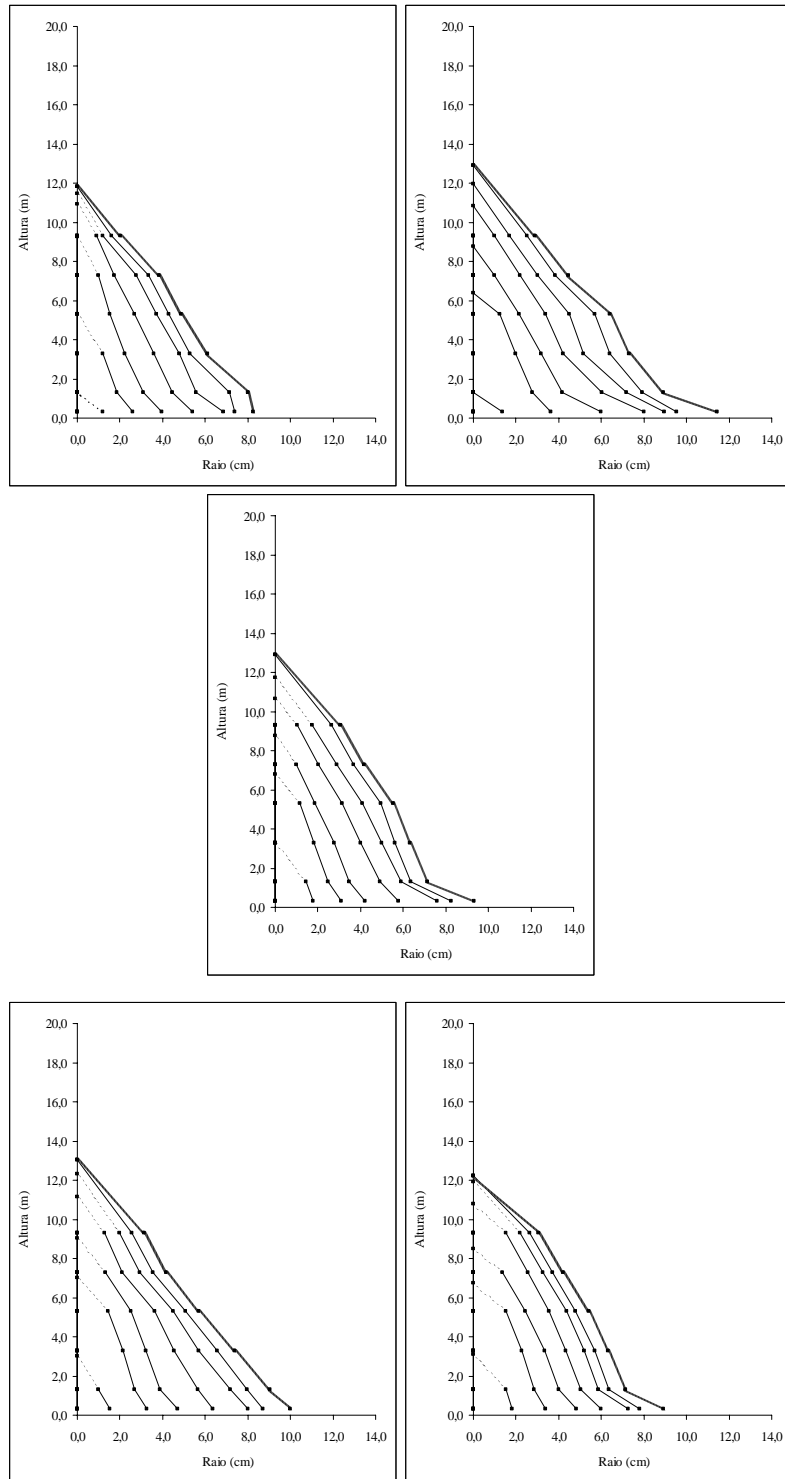


Figura 14 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 6 anos de idade obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.

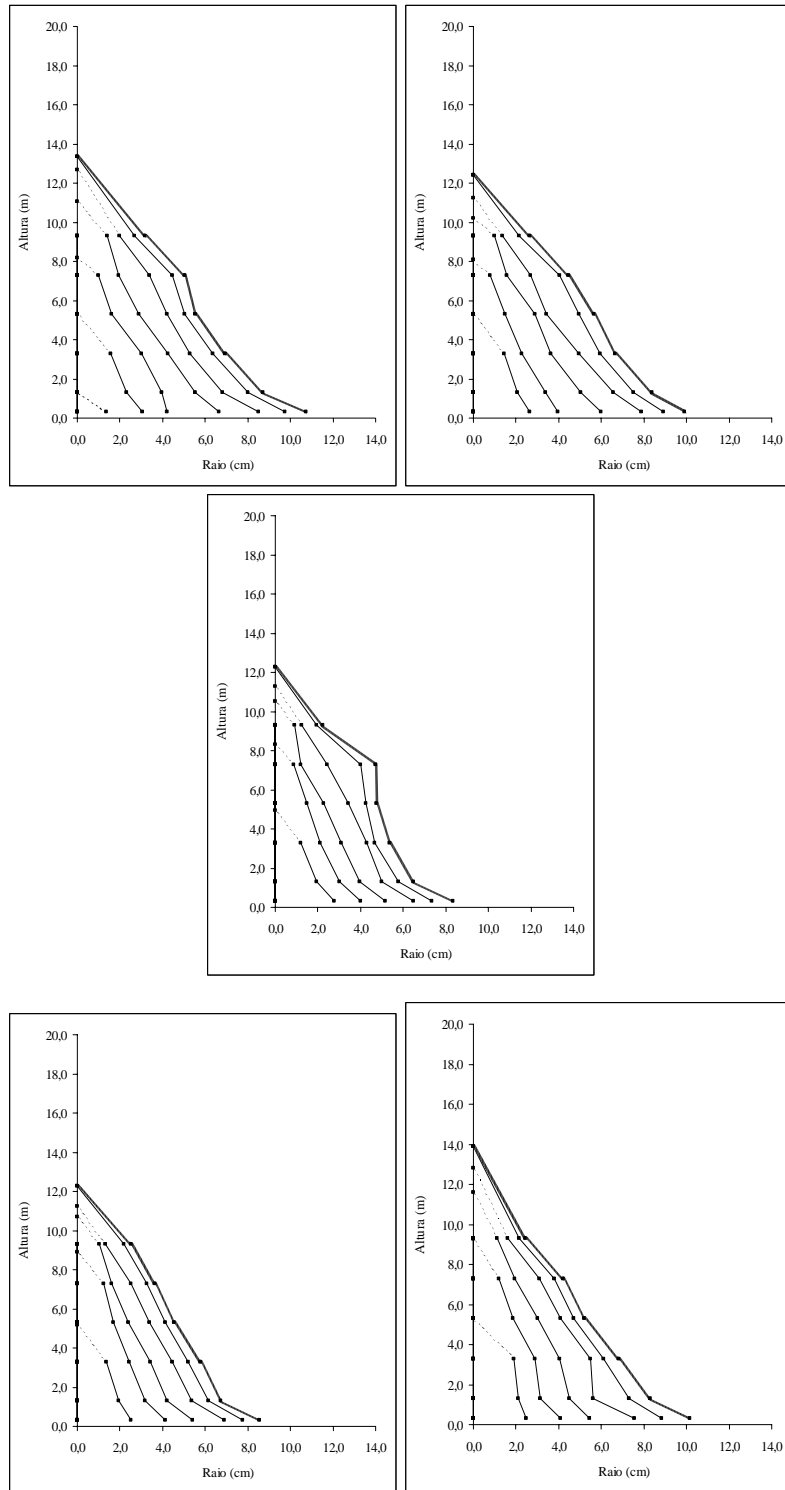


Figura 15 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 5 anos de idade obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.

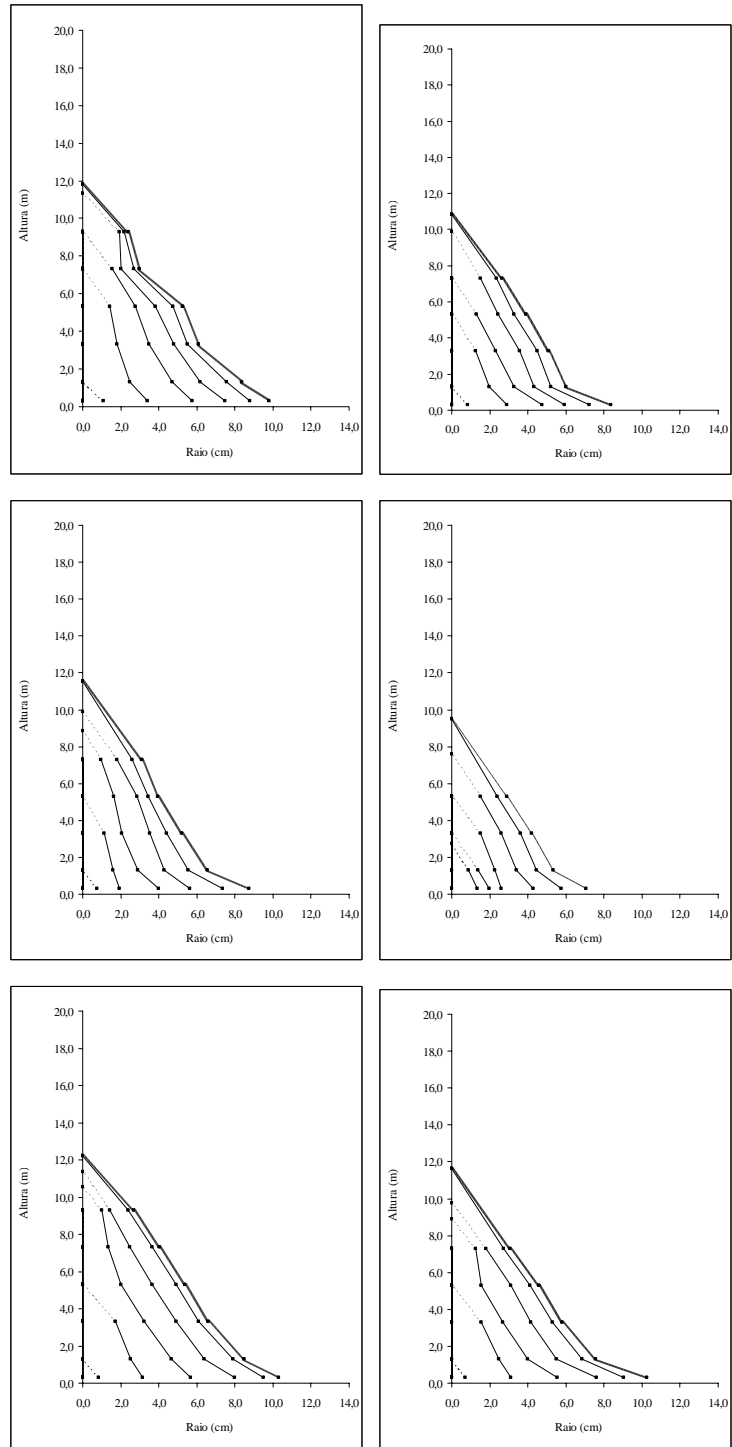


Figura 16 – Perfis de árvores de *Tectona grandis* aos 4 anos de idade obtidos por análise de tronco, em Santo Antônio do Leverger, MT.