

Classificação de Sítio e Análise Econômica das Fazendas

Gabriel de Freitas Pereira

Índice

1	Apresentação	3
2	Introdução	3
3	Objetivo	4
4	Metodologia	4
4.1	Coleta de dados e classificação de sítios	4
4.2	Prognose e rotação técnica de corte	5
4.3	Análise econômica	6
4.4	Análise de sensibilidade	7
5	Resultados e discussão	7
5.1	Estatísticas dos modelos e classes de sítio	7
5.2	Prognose e idade ótima de corte	11
6	Análise econômica	13
6.1	Sensibilidade econômica	13
7	Conclusão	13
	Referências	14



Be the change you want to see in the world

1 Apresentação

A chesTree é uma empresa de consultoria e serviços florestais, especializada nos processos que envolvem medições e realizações de inventários. A chesTree conta com profissionais qualificados e renomados do mercado, atuando na área florestal desde 1990. A sede da empresa está localizada em São Paulo, mas conta com filiais espalhadas por todo país.

2 Introdução

Um inventário florestal é uma prática que busca a quantificação, e por conseguinte, a qualificação das florestas em diferentes aspectos, como a produção de madeira e outros possíveis produtos, através do uso de técnicas estatísticas de amostragem. Considerando que, o inventário visa obter o máximo de informações de uma floresta com a máxima precisão e o mínimo custo. Esses três fatores desempenham papel importante no planejamento de um inventário florestal (Júnior et al. 2020).

Sendo assim, o conhecimento dos processos de crescimento e produção de um povoamento florestal são indubitavelmente necessários ao gerenciamento racional das florestas plantadas (Cosenza et al. 2015). Logo, as técnicas estatísticas que envolvem modelagens tornam-se ferramentas importantes para se obter informações relevantes que auxiliem na tomada de decisões durante o planejamento florestal, a partir de características encontradas na área e sua conseguinte prognose de produção gerada. Afinal, o crescimento e a produção de um povoamento florestal dependem de diversos fatores que podem ser quantificados e planejados, como a idade, o sítio (potencial produtivo), os tratos silviculturais, entre outros.

Dessa forma, com a intenção de prever o crescimento, são estimadas variáveis dendrométricas e classes de produtividade ou sítio. Portanto, a determinação de sítio é de suma importância durante todo o sistema de prognose e definição das classes de produtividade (Miranda et al. 2021). Isso se deve ao fato de que há uma amplitude de variação dos fatores biológicos, os quais refletem no crescimento das florestas.

Desse modo, é possível concluir que através das estimativas citadas anteriormente se pode alcançar a máxima eficiência volumétrica, ou seja, a idade em que o povoamento atinge ao maximizar o incremento médio anual (IMA), pois o mesmo apresenta um único ponto de máximo quando associado a curvas de crescimento que apresentam uma fase inicial com ganhos mais do que proporcionais, seguida de uma fase com ganhos decrescentes (Rodriguez 2010). Logo, saber quando ocorrerá o máximo lucro por unidade de área é um fator imprescindível para uma empresa florestal, o qual é perceptível através desse parâmetro.

3 Objetivo

O presente relatório tem como objetivo utilizar dados de um inventário florestal contínuo de plantios clonais de *Eucalyptus* sp. no estado de São Paulo para:

- classificar os sítios das três fazendas;
- recomendar a idade ótima de corte;
- definir qual a fazenda mais lucrativa dentro das condições existentes para possível implantação da floresta.

4 Metodologia

4.1 Coleta de dados e classificação de sítios

Inicialmente, os primeiros aspectos da área foram fornecidos pelo proprietário da área e foram analisadas presencialmente na fazenda, e essas informações eram sobre o espaçamento, tipo de solo, relevo, presença de patógenos, umidade do solo, entre outras informações gerais. Depois desse processo, os dados de diâmetro à altura do peito (DAP) foram coletados a 1,3 m do solo, através do uso de uma fita métrica no sentido horizontal em relação ao solo. Quando as árvores estavam em terreno inclinado, a medição foi realizada no ponto mais elevado e no caso das árvores inclinadas a fita métrica foi colocada no sentido perpendicular ao eixo do tronco da árvore. A altura total foi medida através de um hipsômetro Suunto. As informações adquiridas foram armazenadas em tablets, assim como o registro de informações como a localização e identificação da área e locais de acesso.

Com isso, o procedimento de amostragem que foi adotado na realização do inventário após a análise dos dados foi a amostragem casual simples com parcelas circulares. Esse tipo de amostragem é um método utilizado em populações homogêneas e foi escolhido, justamente, por conta dessa característica do povoamento. Além disso, o procedimento de inventário florestal citado anteriormente foi repetido ao longo dos anos, de forma contínua, com o objetivo de processar os dados nos softwares R 4.2.1 e Microsoft Excel.

Sendo assim, para a classificação de sítios, foram avaliados os modelos hipsométricos apresentados a seguir, tanto na forma anamórfica quanto polimórfica.

Chapman-Richards

- anamórfico: $Hd_2 = Hd_1 * \left[\frac{(1 - e^{\beta_1 Hd_1})^{\beta_2}}{(1 - e^{\beta_2 Hd_2})} \right]$

- polimórfico: $Hd_2 = \beta_0 * \left(\frac{Hd_1}{\beta_0} \right)^{\frac{\log(1-e^{\beta_1 Hd_2})}{\log(1-e^{\beta_1 Hd_1})}}$

Schumacher

- anamórfico: $Hd_2 = Hd_1 * e^{\beta_1 \left(\frac{1}{Id_2} - \frac{1}{Id_1} \right)}$
- polimórfico: $Hd_2 = \beta_0 \left(\frac{Hd_1}{\beta_0} \right)^{\frac{Id_1}{Id_2}}$

Bailey-Clutter

- anamórfico: $Hd_2 = \frac{Hd_1}{e^{\beta_1 (Id_2^{\beta_2} - Id_1^{\beta_2})}}$
- polimórfico: $Hd_2 = \beta_0 \left(\frac{Hd_1}{\beta_0} \right)^{\left(\frac{Id_1}{Id_2} \right)^{\beta_2}}$

A partir da avaliação feita com base na análise gráfica e atributos estatísticos gerados, foi escolhido o melhor modelo para prosseguir com a classificação de sítio. Dessa forma, a idade referência utilizada para classificar as parcelas medidas foi a de 72 meses, com sítios divididos em quatro classes.

Além disso, visando garantir a melhor escolha possível do modelo foram comparadas as estabilidades entre parcelas dos dois melhores modelos, escolhendo o modelo mais estável. E com isso, finalmente foi realizada a reclassificação analisando como a altura varia de acordo com a idade da floresta.

Desse modo, depois da reclassificação foram escolhidos três talhões (1 sítio representando cada talhão), os quais apresentavam relação com a distância, ou seja, quanto melhor o sítio mais distante o talhão.

4.2 Prognose e rotação técnica de corte

Para estimar a produção do volume, foi realizada a prognose e rotação nas diferentes idades (24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120 meses) dos talhões analisados. Sendo que, foi utilizado o modelo volumétrico de Clutter (representado a seguir), do qual foram analisados seus respectivos atributos estatísticos e gráficos.

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{S} + \beta_2 * \frac{1}{Id_2} + \beta_3 * \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) * \ln(ab_1) + \beta_4 * \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right) + \beta_5 * \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right) * S$$

A equação acima considera que:

- V = volume de madeira (m^3) na idade 2;
- S = valor central da classe de sítio da parcela (m);
- Id = idade (meses);

- ab = área basal (m^3/ha).

Então, a partir das estimativas de área basal foram calculados o Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os talhões analisados, de acordo com as fórmulas apresentadas abaixo.

$$IMA = \frac{V_{Id}}{Id}$$

$$ICA = V_{Id_2} - V_{Id_1}$$

onde:

V_{Id} = volume na idade n ;

Id = idade n .

4.3 Análise econômica

Com o intuito de determinar a idade ótima de corte foi realizada uma análise econômica, considerando que os anos e custos das operações foram anexados neste documento, para facilitar a visualização das premissas usadas. Logo, a partir desses dados, foi gerada uma planilha de fluxo de caixa de cada talhão analisado, com valores de Receitas e Custos para cada ano de plantio. Desse modo, os seguintes valores foram calculados: Valor Presente das Receitas (VPR), Valor Presente dos Custos (VPC), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Infinito (VPL inf), Custo Médio da Produção (CMP_r), Relação Benefício Custo (B/C), Valor Esperado da Terra (VET) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

A análise econômica foi realizada de forma principal através do VPL, considerando um horizonte infinito (VPL infinito), pois dessa maneira é possível comparar projetos com durações diferentes. Dessa forma os projetos foram avaliados. Algumas das fórmulas estão apresentadas abaixo:

$$VPL = VP - VPC$$

Sendo:

VPC = valor presente do custo

VP = valor presente

$$VPL_{inf} = \frac{VP(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} = \frac{VP}{(1 - (1+i)^{-t})}$$

Sendo:

t em anos e taxa i anual

ou

t em meses e taxa i mensal

$$BC = \frac{VP}{VPC}$$

Em que:

VPC = valor presente do custo

$$\sum_{j=0}^n C_j(1 + TIR)^{-j}$$

Em que:

C_j = valor atual dos custos;

j = período em que os custos ou receitas ocorrem;

n = duração do projeto.

Esses valores gerados serão devidamente comentados posteriormente neste relatório, de acordo com as interpretações geradas e suas motivações.

4.4 Análise de sensibilidade

Portanto, com a análise econômica florestal realizada, foram especulados cenários existentes e suas respectivas alterações em valores como o custo da terra, custos de venda da madeira e custos atrelados ao transporte da madeira.

5 Resultados e discussão

5.1 Estatísticas dos modelos e classes de sítio

A Tabela 1 apresenta todos os coeficientes obtidos de cada modelo testado e seus respectivos valores de erro padrão residual. Antes de analisar os resultados, é importante salientar que quanto maior o erro padrão residual mais distante do ideal o modelo se encontra, ou seja, os resíduos estão mais distantes do valor real. Desse modo, comparando os modelos de forma **isolada a partir dessa métrica estatística** os modelos de Bailey-Clutter polimórfico e Chapman-Richards polimórfico, obtiveram os melhores resultados para as estimativas realizadas. Sendo possível destacar o polimorfismo como a forma que mais se aproxima

do ideal em cada modelo testado, o que é esperado teoricamente, considerando os fatores biológicos que afetam as florestas.

Tabela 1: Coeficientes e erro padrão residual obtidos com o ajuste dos modelos.

Modelos	β_0	β_1	β_2	Erro padrão residual (%)
Bailey-Clutter (polimórfico)	56.562771		0.670526	4.84
Bailey-Clutter (anamórfico)		7.933699	-0.446896	5.52
Chapman- Richards (polimórfico)	36.631524	-0.02217		4.59
Chapman- Richards (anamórfico)		-0.020103	1.003869	5.49
Schumacher (polimórfico)	40.939872			5.05
Schumacher (anamórfico)		-25.891251		6.21

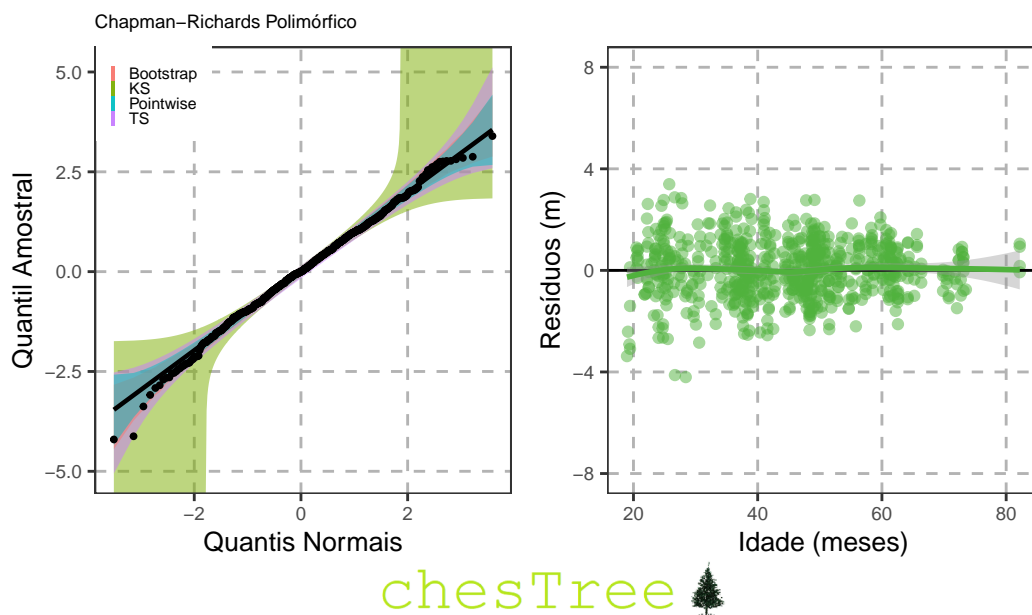


Figura 1: Gráfico quantil-quantil e gráfico da distribuição de resíduos do modelo de Chapman-Richards (polimórfico).

Dessa forma, o modelo de Chapman-Richards foi o modelo escolhido, pois além do seu desempenho através da métrica citada anteriormente ter sido o superior, esse foi o modelo que apresentou a melhor distribuição de resíduos devido os resultados estarem mais agrupados em torno do zero (Figura 1), quando comparado com as distribuições dos demais modelos testados a um nível de significância de 5%, os quais estão anexados neste documento.

Ademais, também na Figura 1, é foram geradas faixas de confiança simultâneas com base na distribuição normal, técnica conhecida como *Pointwise*; faixas de confiança pontuais com base em um bootstrap paramétrico; bandas de confiança simultâneas com base em uma inversão do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) e faixas de confiança sensíveis à cauda, como proposto por (Aldor-Noiman et al. 2013). E a reta estimada estava contida dentro desses intervalos, para todas as técnicas citadas, afirmando normalidade.

Outrossim, com o intuito de comparar as estabilidades entre parcelas dos modelos, foi processada a classificação de sítio. Com isso, foi possível gerar comparações como as destacadas na frequência das mudanças de classe observadas na Tabela 2, a qual apresenta a comparação entre os dois melhores modelos. Sendo que, essa mesma análise para os demais modelos está disponível em anexo deste documento, assim como os gráficos das curvas de índice de sítio das alturas dominantes, distribuídas em intervalos de classes, em função do tempo para cada modelo.

Tabela 2: Teste de estabilidade das parcelas para os melhores modelos testados.

Modelos	Migração de classes	Ocorrências	Porcentagem
Bailey-Clutter (polimórfico)	0	83	36.56
	1	131	57.71
	2	13	5.73
Chapman-Richards (polimórfico)	0	90	39.65
	1	123	54.19
	2	14	6.17

O modelo Chapman-Richards Polimórfico apesar de estar um pouco abaixo da estabilidade observada no modelo de Bailey-Clutter, os dados apresentam pouca diferença, e por conta da sua superioridade nos demais quesitos observados, o modelo escolhido foi o de Chapman-Richards polimórfico.

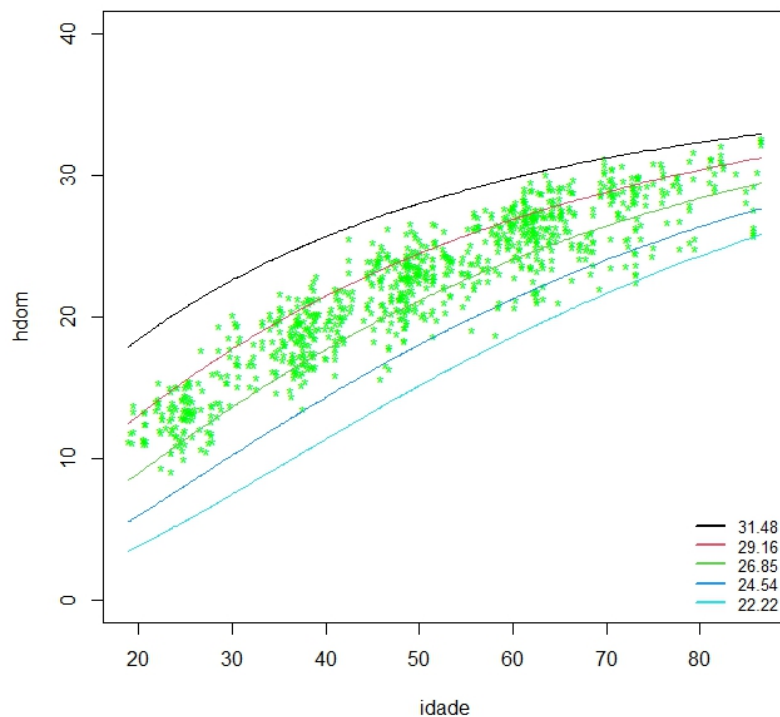


Figura 2: Distribuição das alturas dominantes em função da idade para modelo Chapman-Richards Polimórfico e seus respectivos limites.

5.2 Prognose e idade ótima de corte

Portanto, com a reclassificação dos sítios, foram selecionadas as três fazendas: Júlio de Mesquita, Santa Bárbara e Montreal. As quais tiveram seus principais dados explicitados na Tabela 3.

Tabela 3: Informações das fazendas em relação às distâncias para a fábrica contratante.

Fazenda	Talhão	Parcela	Idade (meses)	Área basal (cm ²)	Sítio	Distância (km)
Montreal	7	15	75	26.58	23.4	86.22
Santa Bárbara	41	71	61.86	30.15	28	114.97
Júlio de Mesquita	103	196	75.76	31.83	30.3	152.06

Para o cálculo das estimativas de volume, foi usado o modelo de Clutter, o qual gerou os parâmetros demonstrados na Tabela 4, sendo posteriormente avaliado pelas métricas dispostas na Tabela 5, as quais apresentaram uma boa confiabilidade, considerando que 95.26% das variações da variável dependente são explicadas pelas variações das variáveis independentes. Além disso, também foi realizada a análise gráfica deste modelo, a qual foi dentro do esperado em relação à variância, afirmando normalidade para os diferentes intervalos estatísticos testados (Figura 3).

Tabela 4: Parâmetros do modelo volumétrico de Clutter.

	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Coefs.	2.673020758	-19.572384	-18.535522	1.223599895	4.424411929	0.009277004

Tabela 5: Estatísticas do modelo de Clutter.

Modelo	Erro padrão residual (m ³)	R ² (%)	Índice de Furnival (%)
Clutter	0.0819171	95.26	7.67

A partir das Figuras 4, 5 e 6, torna-se perceptível as diferenças na idade técnica de corte (período de maior Incremento Médio Anual) para cada fazenda, considerando a relação inversa com a qualidade do sítio, de acordo com o que se espera na teoria, quanto melhor o sítio maior o IMA (Incremento Médio Anual), logo, mais rápido as plantas atingirão a idade ótima para corte (IOC/ITC). No entanto, a fazenda Santa Bárbara, a qual está contida no sítio 28, apresentou uma IOC mais curta do que a fazenda Júlio de Mesquita, a qual está contida no

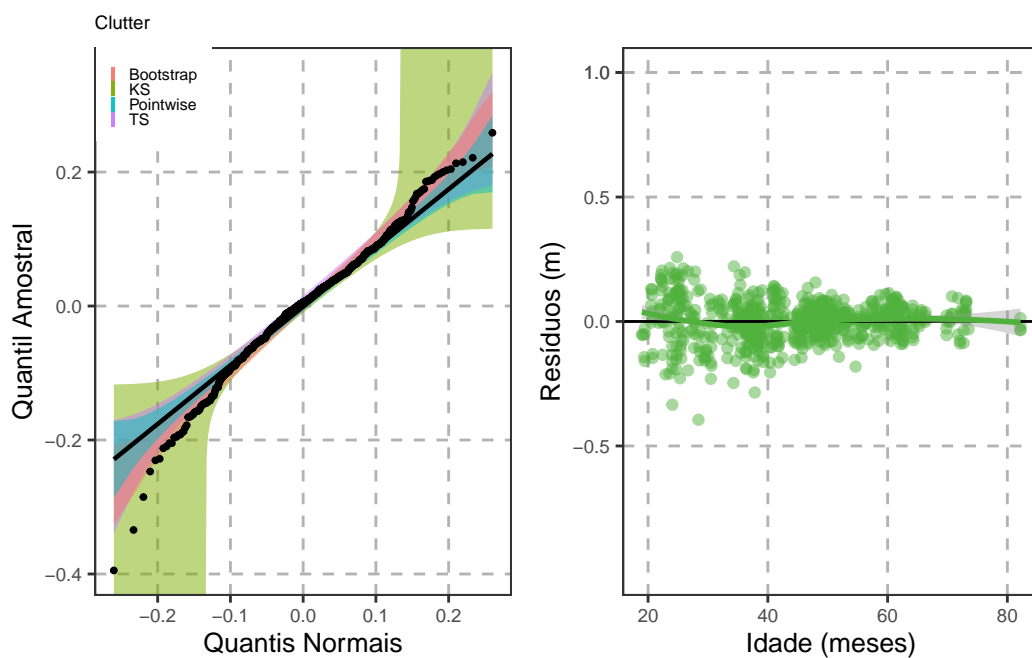


Figura 3: Gráfico quantil-quantil e gráfico da distribuição de resíduos do modelo de Clutter.

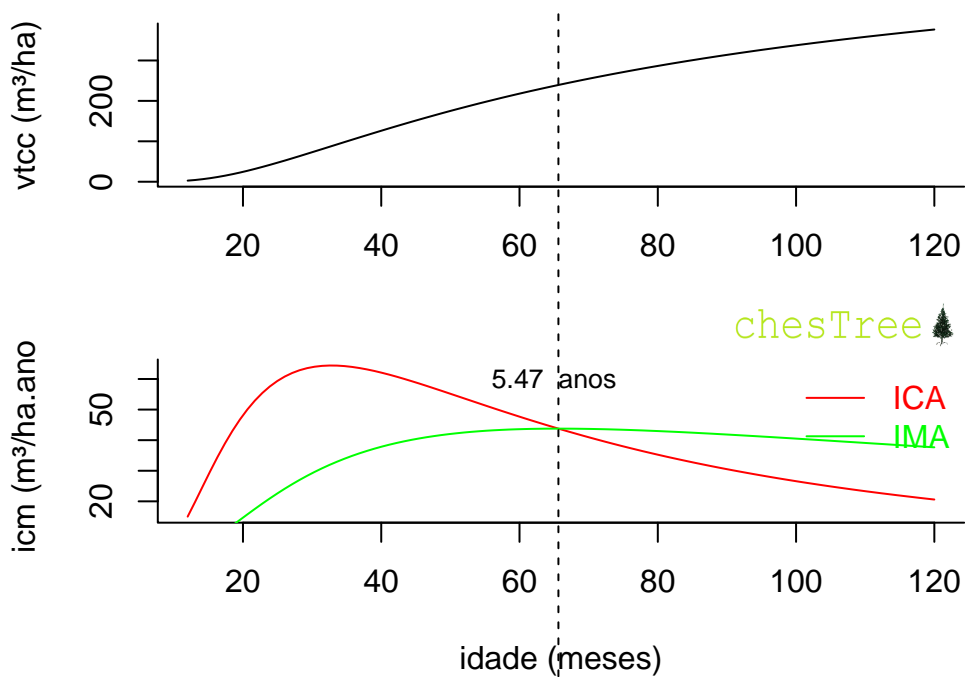


Figura 4: Curva de Crescimento e Curvas de IMA e ICA com Idade Ótima de Corte destacado em ambos gráficos da Fazenda Montreal.

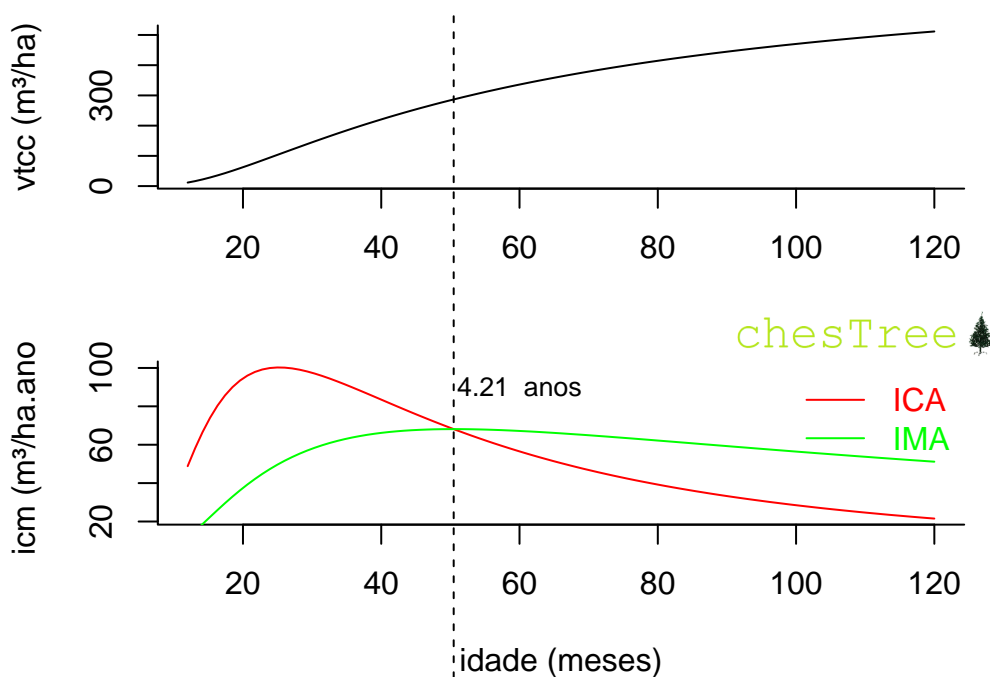


Figura 5: Curva de Crescimento e Curvas de IMA e ICA com Idade Ótima de Corte destacado em ambos gráficos da Fazenda Santa Bárbara.

sítio 30.3. Ou seja, é possível inferir que devido às condições menos favoráveis existentes na fazenda Santa Bárbara, não vale a pena manter a floresta em pé, devido a sua permanência no campo não representar um maior desenvolvimento.

6 Análise econômica

6.1 Sensibilidade econômica

7 Conclusão

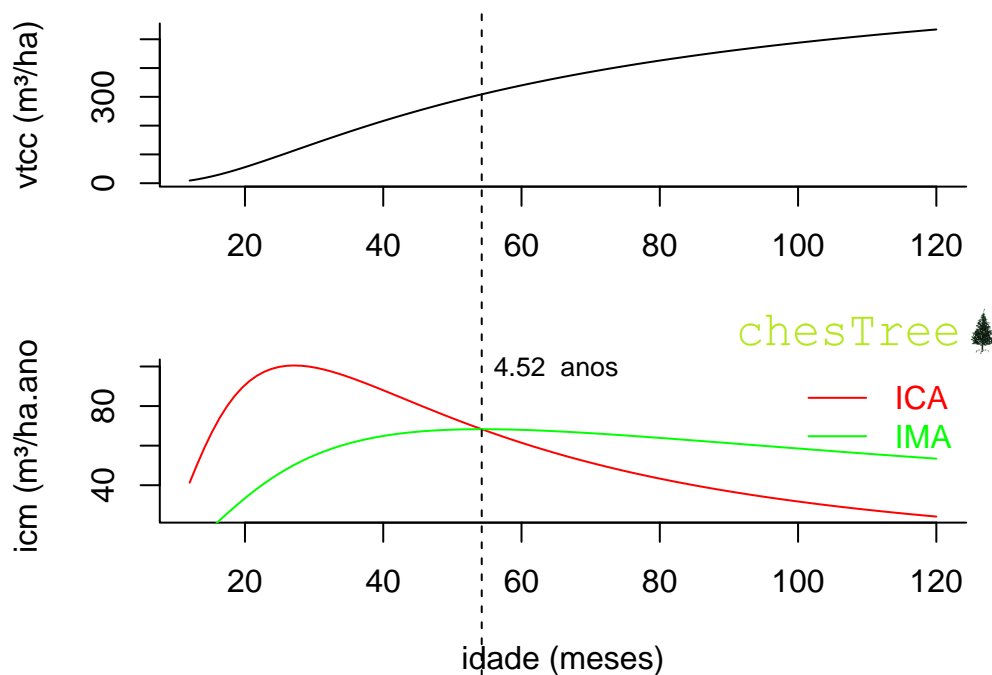


Figura 6: Curva de Crescimento e Curvas de IMA e ICA com Idade Ótima de Corte destacado em ambos gráficos da Fazenda Júlio de Mesquita.

Referências

- Aldor-Noiman, Sivan, Lawrence D Brown, Andreas Buja, Wolfgang Rolke, e Robert A Stine. 2013. «The power to see: A new graphical test of normality». *The American Statistician* 67 (4): 249–60.
- Cosenza, Diogo Nepomuceno, Helio Garcia Leite, Gustavo Eduardo Marcatti, Daniel Henrique Breda Binoti, AEM de ALCÂNTARA, e Rafael Rode. 2015. «Classificação da capacidade produtiva de sítios florestais utilizando máquina de vetor de suporte e rede neural artificial». *Scientia Forestalis* 43 (108): 955–63.
- Júnior, Claudiomiro Fernandes Dias, Cristiano Bertolini, Rafaelo Balbinot, e Sidnei Renato Silveira. 2020. «Measure: sistema de coleta de informações para inventário florestal». *Tecno-Lógica* 24 (1): 103–11.
- Miranda, Rodrigo Otávio Veiga de, Afonso Figueiredo Filho, Emanuel Arnoni Costa, Luan Demarco Fiorentin, Sintia Valerio Kohler, e Ângelo Augusto Ebling. 2021. «Métodos da curva guia e equação das diferenças na classificação de sítio e sua relação na descrição da altura em *Pinus taeda* L.»
- Rodriguez, Luiz Carlos Estraviz. 2010. «TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO MATEMÁTICA PARA A GESTÃO DE FLORESTAS PLANTADAS».

Anexos

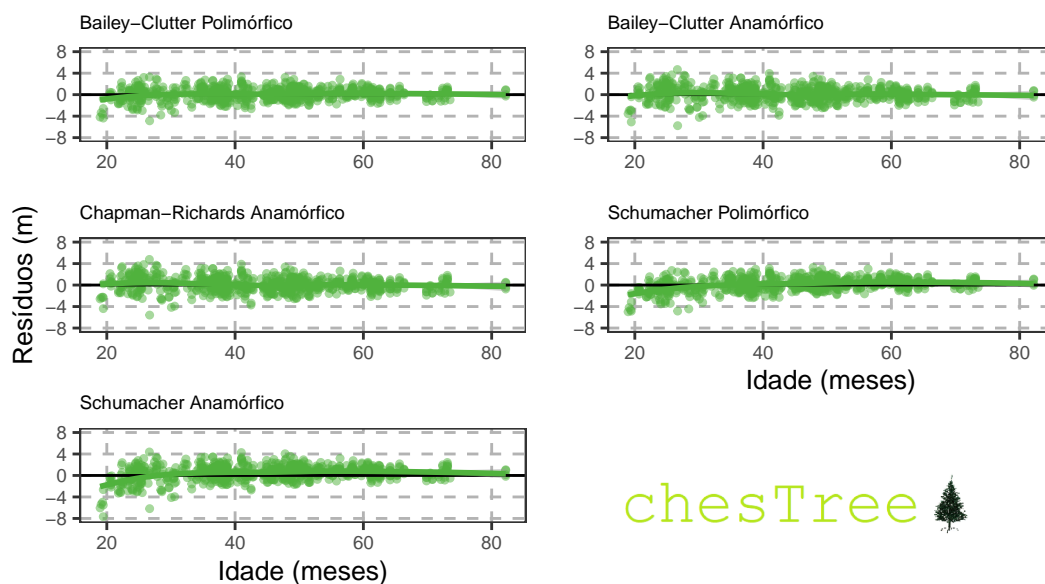
chesTree 

Figura 7: Gráficos da distribuição de resíduos dos modelos que não foram selecionados.

Tabela 6: Teste de estabilidade das parcelas para os modelos não selecionados

Modelos	Migração de classes	Ocorrências	Porcentagem
Bailey-Clutter (polimórfico)	0	78	34.36
	1	135	59.47
	2	14	6.17
Bailey-Clutter (polimórfico)	0	80	35.24
	1	130	57.27
	2	17	7.49
Bailey-Clutter (polimórfico)	0	84	37
	1	129	56.83
	2	14	6.17
Bailey-Clutter (polimórfico)	0	70	30.84
	1	140	61.67

Modelos	Migração de classes	Ocorrências	Porcentagem
	2	17	7.49

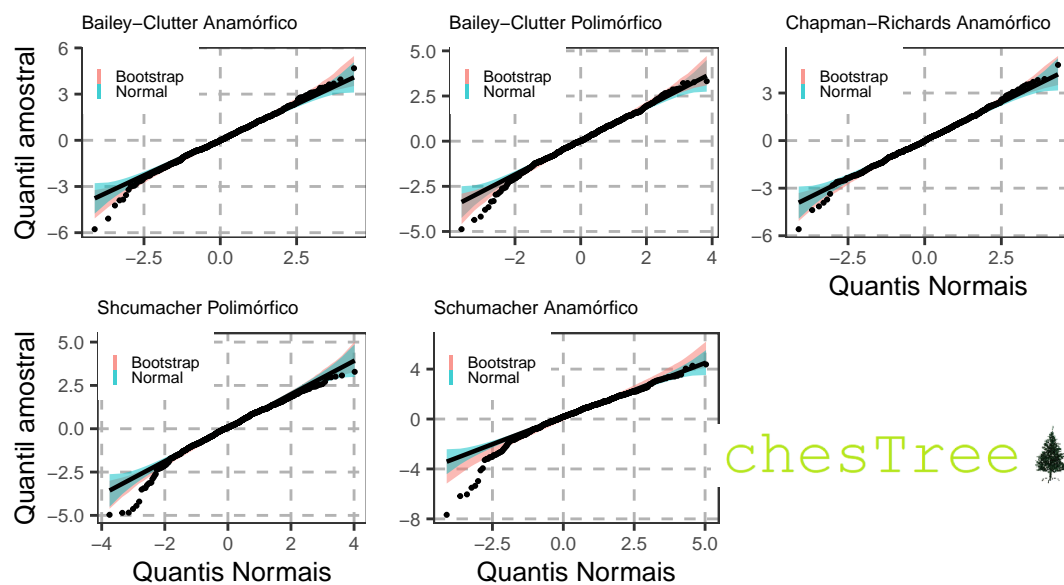


Figura 8: Gráficos quantil-quantil dos modelos que não foram selecionados.