

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

ANTONIO LEONARDO SOUSA MODESTO

**AJUSTE E COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS EM
UM CLONE HÍBRIDO DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA* PLANTADO
EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS, NA CHAPADA
DO ARARIPE.**

**RECIFE-PE
2021**

ANTONIO LEONARDO SOUSA MODESTO

**AJUSTE E COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS EM UM
CLONE HÍBRIDO DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA* PLANTADOS EM
DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS, NA CHAPADA DO
ARARIPE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Florestal da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como parte das
exigências para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Orientador: José Antônio Aleixo da Silva

**RECIFE-PE
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A635a Modesto, Antonio Leonardo Sousa
AJUSTE E COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS EM UM CLONE HÍBRIDO DE EUCALYPTUS
UROPHYLLA PLANTADO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS, NA CHAPADA DO ARARIPE.
/ Antonio Leonardo Sousa Modesto. - 2021.
41 f. : il.
- Orientador: Jose Antonio Aleixo da Silva.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2022.
1. Estimativa da altura. 2. Inventário florestal. 3. Semiárido. I. Silva, Jose Antonio Aleixo da, orient. II. Título

CDD 634.9

ANTONIO LEONARDO SOUSA MODESTO

AJUSTE E COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS EM UM CLONE HÍBRIDO DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA* PLANTADO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS, NA CHAPADA DO ARARIPE.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, ao curso de graduação, em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito e título de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Professor José Antônio Aleixo da Silva

COMISSÃO EXAMINADORA

Professor José Antônio Aleixo da Silva, Dr. (UFRPE)

Rodrigo Eiji Rakamada, Dr. (UFRPE)

José Wesley Lima Silva, Dr. (UFRPE)

Recife, 15 de julho de 2021

AGRADECIMENTOS

Sou grato primeiramente a Deus, por me dar forças e coragem para sempre lutar, sendo meu porto seguro nos dias felizes e tristes.

Agradeço a minha mãe, Maria Nobre de Sousa Modesto, que mesmo sem estudos e condições financeiras conseguiu que seus filhos todos se formassem, sou eternamente grato pelos incentivos nos estudos e por ter feito esse papel de mãe e pai com tanta excelência. A minhas irmãs e irmão pelo apoio e o exemplo que sempre tive.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e todos seus servidores, especialmente a todos do Departamento de Ciência Florestal, onde vivi quase que de forma integral durante minha graduação. Ao Prof. José Antônio Aleixo da Silva por ser meu orientador e ter depositado tanta confiança em meu trabalho, além dos ensinamentos, suporte e oportunidade que tive em trabalhar na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe.

A Cibele Alves e Elaine Cristina, pelo apoio e ensinamentos durante meu estágio no Laboratório de Fisiologia Vegetal (LFV). Ao Prof. Marcelo Nogueira e todo grupo PET Engenharia Florestal, por confiarem no meu trabalho. Ao Prof. Rodrigo Hakamada, por acreditar no meu potencial e ter depositado tanta confiança em mim. Ao Grupo de Práticas Florestais (GPFlor), onde pude desenvolver minhas habilidades de forma prática.

Aos meus colegas de curso, principalmente da minha turma, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

A minha namorada, Mylena Raiza, por estar tão presente nesses últimos dois anos, sempre me apoiando e incentivando a crescer. Agradeço aos meus amigos, Alisson Santana, Barbara Jossany, Cláudio Brito, Felipe Tavares, Lucas Moura, que sempre estiveram ao meu lado e por todo auxílio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei ao curso.

Muito obrigado a todos que fizeram parte da minha trajetória, graças a vocês pude trilhar meu caminho de forma menos árdua e cansativa.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes espaçamentos no ajuste e seleção de modelos hipsométricos em plantio experimental de híbrido de *Eucalyptus urophylla*, com oito anos de idade, no Polo Gesseiro do Araripe-PE, indicando aquele(s) que melhor descreve(m) a relação altura-diâmetro para cada espaçamento. O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizada no município de Araripina, com coordenadas geográficas 07°27'37'' S e 40°24'36'' W e altitude de 831 metros. O clima predominante é do tipo BSh de Köppen, quente e seco das baixas latitudes, com chuvas de verão. Os dados utilizados foram provenientes de um experimento composto por três clones (C41- Híbrido de *Eucalyptus Urophylla*, C11 - Híbrido de *Eucalyptus brassiana* e C39 – Híbrido de *Eucalyptus urophylla*), no entanto, apenas o clone C39 foi utilizado, por ser o mais produtivo. O clone foi plantado em cinco densidades populacionais diferentes (2m x 1m, 2m x 2m, 3m x 2m, 3m x 3m e 4m x 4m) com quatro repetições (parcelas) distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado. Foram ajustados cinco modelos hipsométricos (Henriksen, Trorey, Prodan, Stoffels e Silva) e para selecionar o melhor modelo, foram usados três testes de validação: Índice de Ajuste de Schlaegel (IA), erro padrão da estimativa (S_{yx}), Índice de Furnival (IF) e análise gráfica dos resíduos. De forma geral, observou-se que todos os modelos apresentaram boa relação hipsométrica para altura total em função do seu DAP, em todos os espaçamentos estudados. O índice de ajuste de Schlaegel, variou de 0,8504 a 0,9857, explicando boa correlação dos modelos em todos os espaçamentos. O espaçamento não influenciou de forma significativa no ajuste dos modelos. O modelo Prodan foi o mais preciso em todos os espaçamentos, com valores médios de 0,9758 para o IA, 5,31% para o S_{yx} e 0,62 para o IF, além disto, de acordo com a análise gráfica dos resíduos, não houve tendenciosidade dos dados. Visto isto, o modelo Prodan é o mais indicado para estimativas de alturas de povoamentos de eucaliptos no Polo Gesseiro do Araripe, em todos os espaçamentos avaliados.

Palavras-chave: Estimativa da altura; Inventário florestal, Semiárido.

ABSTRACT

The work aims to evaluate the influence of different population densities on the adjustment and selection of hypsometric models in an experimental planting of an eight-years-old *Eucalyptus urophylla* hybrid located in the Gypsum Pole of Araripe-PE, indicating the one(s) that best describes (m) the height-diameter ratio for each spacing. The experiment was carried out at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, located in the municipality of Araripina, with geographic coordinates $07^{\circ} 27'37''$ S and $40^{\circ} 24'36''$ W and altitude of 831 meters. The predominant climate according to Köppen is BSh, hot and dry low latitudes, with summer rains. The data used came from an experiment consisting of three clones C41 - Hybrid *Eucalyptus urophylla*, C11 - Hybrid *Eucalyptus brassiana* and C39 - Hybrid *Eucalyptus urophylla*, however, only clone C39 was used, because it is the most productive. The clone was planted in five different population densities (2m x 1m, 2m x 2m, 3m x 2m, 3m x 3m and 4m x 4m) with four replications distributed in a completely randomized design. Five hypsometric models were adjusted (Henriksen, Trorey, Prodan, Stoffels and Silva). To select the best model, four validation tests were used: Schlaegel fitting index (FI), standard error of estimate (S_{yx}), Furnival index (IF) and the graphical distribution of residuals. In general, it was observed that all models had a good dendrometric ratio for total height as a function of diameter at breast height (DBH), in all densities studied. Schlaegel's fitting index, ranged from 0.8504 to 0.9857, explaining good correlation of the models in all spacings. The planting spacing did not significantly influence the adjustment of the models. The Prodan model was the most accurate with mean values of 0.9758 for the FI, 5.31% for the S_{yx} and 0.62 for the IF. Furthermore, according to the graphical analysis of the residues there was no tendentiousness in the data. Thus, the Prodan model is the most suitable for estimating the height of adult eucalyptus stands in the Gypsum Pole of Araripe-PE, in all evaluated spacings.

Keywords: Height estimate; Forest inventory, Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área experimental com plantio de híbridos de *Eucalyptus* spp. localizadas na Estação Experimental do Araripe (IPA) 21
- Figura 2.** Desenho esquemático da parcela, com demonstração da área total e o detalhado limite da área útil. 22
- Figura 3.** Distribuição gráfica dos resíduos de diferentes modelos hipsométricos, em função da altura total observada, para híbrido de *Eucalyptus urophylla*, distribuídos em diferentes espaçamentos, em plantio experimental na Chapada do Araripe. 30
- Figura 4.** Curva hipsométrica pelo modelo de Prodan, em diferentes espaçamentos de um híbrido de *Eucalyptus urophylla*, em plantio experimental na Chapada do Araripe..... 33

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Descrição dos tratamentos avaliados no módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina – PE.22
- Tabela 2.** Modelos hipsométricos selecionados para estimativa da altura total de árvores de *Eucalyptus*, em experimento realizado na Estação Experimentação do Araripe (IPA) em Araripina-PE.23
- Tabela 3.** Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos nos ajustes dos modelos hipsométricos para híbrido de *Eucalyptus urophylla*, distribuídos em diferentes espaçamentos, em plantio experimental na Chapada do Araripe.27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. POLO GESSEIRO DO ARARIPE	13
3.2. O EUCALYPTUS	14
3.3. PLANEJAMENTO FLORESTAL E ESPAÇAMENTO DE PLANTIO	15
3.4. MODELOS DE REGRESSÃO	17
3.5. RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.3. COLETA DE DADOS	23
4.4. MODELOS HIPSOMÉTRICOS	23
4.4.1. Seleção da melhor equação	23
4.4.1.1. Correção da Discrepância Logarítmica	24
4.4.1.2. Índice de Ajuste da Schlaegel	24
4.4.1.3. Índice de Furnival	24
4.4.1.4. Erro Padrão da Estimativa	25
4.4.1.5. Análise Gráfica do Resíduo	25
4.4.1.6. Valor ponderado dos escores estatísticos (VP)	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO	35
7. REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, desde o processo de colonização do Brasil, os recursos naturais são explorados de forma insustentável, e como consequência desse uso desenfreado, grande parte da cobertura florestal já foi modificada pelo homem. Dentre os domínios fitogeográficos ameaçados do nosso País, está a Caatinga, que já sofreu alterações na cobertura vegetal em cerca de 42,3% de sua área total, causados principalmente por fins energéticos e agrícolas (FUNDAJ, 2019).

O Polo Gesseiro do Araripe, localizado no extremo Oeste de Pernambuco, é caracterizado pelo elevado grau de pureza de suas reservas de gipsita, sendo responsável pela produção de 95% do gesso no Brasil (DNPM, 2013; MELO, 2017). Apesar de um importante setor na economia da região, ele é responsável por grande parte da degradação da vegetação nativa local, visto que sua matriz energética é predominantemente provinda da lenha (GADELHA, 2014). Dentre as alternativas sustentáveis e rentáveis, está o uso do eucalipto para fins energéticos, logo, uma das principais formas de minimizar o impacto ambiental e os custos é o incentivo da produção florestal local (GADELHA, 2014).

A disseminação do gênero *Eucalyptus* pelo mundo é um sucesso, e no Brasil não é diferente. Segundo dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE (2019) a área de florestas plantadas com eucalipto é de 7,6 milhões de hectares, em 2019. A região Nordeste sofre grandes desafios com a eucaliptocultura, principalmente por um fator limitante que é a seca. O cultivo em áreas secas pode afetar consideravelmente a produtividade de florestal plantadas com eucalipto, apesar disto, quando comparado com a produtividade da Caatinga, os valores são muito superiores (GOMIDE *et al.*, 2005; SILVA, 2008-2009).

Para obter sucesso em um plantio florestal, principalmente quando há um fator limitante tão forte como a restrição hídrica, é essencial um planejamento adequado das ações silviculturais, definindo o clone a ser utilizado, preparo de solo adequado, época de plantio e o espaçamento de plantio ideal (SESSIONS; BETTINGER, 2001). A escolha de um espaçamento ideal condiciona a quantidade de recursos disponíveis ao desenvolvimento dos indivíduos (ASSMAN, 1970).

A densidade populacional tem forte influências em características de desenvolvimento do eucalipto, dentre elas estão: área basal, altura e disponibilidade de água e nutrientes (MAGALHÃES *et al.*, 2007;). Estudos mostram que existe correlação muito forte entre o crescimento em diâmetro e o espaçamento do plantio, no entanto, esta correlação não é tão forte quando se trata da altura das árvores (BALLONI; SIMÕES, 1980; PEDROSA, 2018).

A altura da árvore serve essencialmente para o cálculo de volume, mas também é utilizada em equações que estimam volume e para funções de afilamento (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009; JESUS *et al.*, 2015). Mensurar esta variável em campo é considerada difícil, pois exige um bom tempo e pode induzir o aumento de erros (SILVA *et al.*, 2007). Por isto, em trabalhos de inventários florestais, principalmente em plantios equiâneos e homogêneos, utiliza-se da variável diâmetro para estimar a altura, tornando esta atividade menos onerosa, mais precisa e prática (ROGLIN *et al.*, 2008; ANDRADE; LEITE, 2011).

As relações hipsométricas permitem estimar a altura das árvores de um povoamento florestal a partir do diâmetro à altura do peito (DAP) (AZEVEDO *et al.*, 1999). Os modelos hipsométricos quando ajustados geram equações que exprimem a relação altura-diâmetro, podendo obter estimativas precisas da altura das árvores (SANQUETTA *et al.*, 2009).

O emprego da relação hipsométrica é essencial para gerenciar e planejar o uso correto dos recursos florestais (REGO *et al.*, 2019). Com intuito de reduzir o tempo em campo e aumentar a precisão para adquirir variáveis desejadas, diversos pesquisadores vem estudando ajustes de modelos para estimação de diversas variáveis, destacando-se a modelagem da relação hipsométrica (OLIVEIRA *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2017).

A relação altura-diâmetro pode ser influenciada por diversas variáveis, dentre elas: idade, região de plantio, tratos silviculturais, amostragem, variação genética, tamanho de copa, regime de manejo adotado e a densidade do plantio (LOETSCH *et al.*, 1973; FINGER, 1992). Logo, alguns modelos podem se adequar melhor do que outros, sendo necessário o ajuste dos modelos de acordo com as características de cada povoamento (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

É de suma importância a realização de estudos envolvendo a modelagem hipsométrica em povoamentos de eucalipto, objetivando a obtenção da estimativa de altura de forma precisa, e como resultado ter maior eficiência no planejamento de plantios florestais, obtendo ganhos em produtividade e sustentabilidade na produção florestal (SOARES, *et al.*, 2017)

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de diferentes espaçamentos no ajuste e seleção de modelos hipsométricos em plantio experimental de híbrido de *Eucalyptus urophylla*, com oito anos de idade, no Polo Gesseiro do Araripe-PE.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar modelos hipsométricos, para estimar altura de híbrido de *Eucalyptus urophylla*;
- Indicar a(s) equação(ões) mais adequada(s), de acordo com a densidade populacional, praticidade e facilidade de obtenção das variáveis independentes em campo.

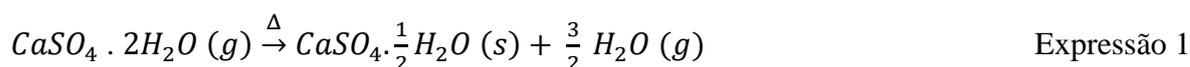
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. POLO GESSEIRO DO ARARIPE

O Brasil se destaca mundialmente por suas reservas de gipsita (sulfato ferroso de cálcio hidratado natural), que conferem mais de 1,7 bilhão de toneladas distribuídas pelos estados da Bahia, Pará e Pernambuco, com 96,9% do somatório das reservas, e o restante se dividem entre os estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Tocantins e Amazonas (SILVA, 2008-2009). A área com maior importância de exploração da gipsita está localizada na Chapada do Araripe, no Polo Gesseiro do Araripe, região situada no extremo Oeste de Pernambuco, composta pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Exu e Ouricuri (GADELHA; SILVA; FERREIRA, 2018).

O Polo Gesseiro do Araripe é caracterizado pela elevada pureza do seu minério (teor médio de pureza em torno de 95%), possui reserva lavrável de 415.109.983 toneladas e é responsável por produzir mais de 95% da produção do País (MELO, 2017; DNPM, 2018). A produção bruta no ano de 2017 foi de 1.684.373 toneladas de gesso (DNPM, 2018). Na região existem 21 minas de gipsita e 128 calcinadoras, empregando 45 mil pessoas diretamente e 45 mil indiretamente (SINDUSGESSO, 2014; ABREU, 2018).

O processo de transformação da matéria prima (gipsita) para o gesso ocorre pela desidratação do minério por meio do aquecimento dos fornos, dá-se pela seguinte reação química (SILVA *et al.*, 2017):



A matriz energética para abastecer o processo calcinação do gesso é majoritariamente provinda da madeira da Caatinga (GOUVEIA, *et al.*, 2015). Por grande parte dos empreendimentos serem de pequeno porte, a matriz predominante é a lenha, por seu baixo custo, que é proveniente da formação vegetal natural, a Caatinga (LEITE, 2019). Pela inexistência de planos de manejo florestais sustentados suficientes para suprir a indústria do gesso, a maioria da madeira passa ser explorada de forma ilegal, causando grande devastação na região, obrigando a indústria a obter recursos madeireiros dos Estados vizinhos, ampliando ainda mais as pressões sob as áreas florestais (ALVES, 2007; BARROS *et al.*, 2010).

Segundo Gadelha (2014) e Leite (2019), o Polo Gesseiro do Araripe consome 652.680 m³ de lenha para atender sua demanda energética, em média são consumidos 250 kg de madeira da Caatinga para produzir uma tonelada de gesso, necessitando de uma área de 14.036 ha/ano explorados com planos de manejo sustentado. Essa devastação obriga os empresários a procurar por oferta de madeira em locais cada vez mais distantes e buscar novas fontes energéticas, o que torna o processo muito mais oneroso.

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e algaroba (*Prosopis* spp.), vem sendo utilizados como alternativas mais rentáveis e econômicas. São necessários 150 a 180 kg de eucalipto ou 180 kg de algaroba para produzir uma tonelada de gesso, porém, apesar de mais rentáveis do que as espécies nativas, o custo com transporte acaba tornando muitas vezes inviável para pequenos empresários, visto que os plantios são localizados em outros Estados (LEITE, 2019). Logo, uma das principais formas de minimizar os custos é o incentivo da produção florestal de espécies de rápido crescimento na região do Polo Gesseiro do Araripe.

3.2. O EUCALYPTUS

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, subfamília Leptospermoideae e detém mais de 700 espécies e variedades. É um gênero natural da Austrália, Papua Nova Guiné, Indonésia e Filipinas, contudo, por ter grande plasticidade e apresentar boas características produtivas foi disperso mundialmente (SILVA, 2009).

A disseminação deste gênero pelo mundo se iniciou no século XIX, sendo o primeiro país a ter exemplares foi a França em 1810. A América do Sul não ficou atrás, sendo o Chile o precursor em produção de mudas no ano de 1823, seguidos pelo Brasil, Argentina e o Uruguai (SILVA, 2008; CHUMACHER; VIEIRA, 2016). No Brasil, as primeiras mudas foram plantadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro no ano de 1824. Em 1855, o Sr. Frederico Albuquerque declara a tentativa de introdução do eucalipto no Rio Grande do Sul, afirmando em 1870 que dentre todas as espécies que havia plantado, o eucalipto era sem dúvidas o mais útil, depois da videira (SCHUMACHER; VIEIRA, 2016).

O sucesso do eucalipto se deu por sua grande variabilidade de usos, tais como, lenha para alimentar locomotivas, dormentes ferroviários, postes para rede elétrica, construção civil, óleos essenciais, dentre diversos outros fins necessários no século XIX e início do século XX (ANDRADE, 1911). Na década de 50, após a segunda guerra mundial, com a ascensão da era industrial o setor de

papel começou a se mover e a madeira de eucalipto, que tinha perdido a sua utilidade para o uso do diesel e a eletricidade, passou a ser a principal fonte para fabricação de papel (SILVA, 2008).

Em 1960, o Curso Superior de Engenharia Florestal foi criado, na Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, em Viçosa-MG, possibilitando a especialização de profissionais na área. A partir do ano de 1966, a Lei dos Incentivos Fiscais para Reflorestamento entrou em vigor e juntamente com a criação da cooperativa de pesquisas Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), revolucionaram a forma de ensino e desenvolvimento florestal no País, que resultou no grande reconhecimento mundial pela alta produtividade e curto ciclo de corte, até os dias atuais (SILVA, 2008).

Hoje em dia, o setor florestal da eucaliptocultura provém diversos produtos que estão no nosso cotidiano, tais como, carvão vegetal, etanol celulósico, aço verde, roupas de viscose, móveis, celulose para papel, energia, máscaras e tecidos cirúrgicos, aromatizantes, dentre outros (IBÁ, 2020).

Segundo dados da Produção e Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) IBGE (2019), em 2019, a área total de florestas plantadas somou 10,0 milhões de hectares, sendo 7,6 milhões de hectares com eucalipto, 2,0 milhões de hectares com pinus e 0,39 milhão com outras espécies. O setor registrou uma receita de R\$ 97,4 bilhões nesse mesmo ano, um crescimento de 12,6% em relação a 2018, contribuindo com 1,2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (IBA, 2020).

Apesar do aumento da área florestal e da representatividade econômica do setor, a produtividade dos plantios vem caindo ao longo dos anos, em 2010, foi registrada a maior média da produtividade com 41,3 m³/ha/ano, desde então houve um decréscimo acentuado até 2019, com produtividade de 35,3 m³/ha/ano, voltamos ao mesmo patamar de 2004-2005 (IBÁ, 2020). Esta queda de produtividade pode estar associada a fatores bióticos e abióticos, mudanças climáticas e pela expansão para novas áreas de produção pelo País.

O Nordeste brasileiro vem sendo um dos principais desafios para o cultivo de florestas plantadas, principalmente pelo grande fator limitante que é a seca. Atualmente, é a região com menor crescimento florestal, com aumento de apenas 78.861 hectares nos últimos 10 anos, ou seja, acréscimo de 9,9%; enquanto o Brasil obteve um acréscimo de 39,5% em sua área florestal no mesmo intervalo de tempo (IBA, 2020).

3.3. PLANEJAMENTO FLORESTAL E ESPAÇAMENTO DE PLANTIO

O reflorestamento em propriedades rurais é de interesse público, pois é uma fonte de renda e contribui para combater o êxodo rural e o desemprego, além de possibilitar inúmeros benefícios ambientais (SILVA, 2008). Um planejamento Florestal é essencial para obter êxito no reflorestamento, e para isto são necessárias informações econômicas, sociais e ambientais (RIBEIRO, *et al.*, 2001).

De forma geral o planejamento florestal pode ser definido como uma identificação de atividades integradas, ao longo do tempo, e indispensável para alcançar os objetivos dentro do manejo florestal (SESSIONS; BETTINGER, 2001). Via planejamento se define as práticas de manejo florestal utilizadas a curto, médio e longo prazo, de acordo com as restrições econômicas, sociais e ambientais (BERGER, *et al.*, 2000). Características ambientais como tipo de solo, relevo, clima, precipitação, são essenciais para um planejamento adequado das ações silviculturais, definindo o clone a ser utilizado, preparo de solo adequado, época de plantio e o espaçamento de plantio ideal.

A escolha de um espaçamento ideal é essencial para um bom desenvolvimento das florestas plantadas, pois condiciona a quantidade de recursos disponíveis ao desenvolvimento dos indivíduos (ASSMANN, 1970). O espaçamento é a distância entre plantas e entre as linhas de plantio, tem como objetivo fornecer a cada árvore o espaço suficiente para obter um melhor crescimento, maior volume e qualidade, além de afetar os custos de implantação, manutenção e exploração da floresta (ROCHA, 2011).

Existem alguns fatores essenciais na escolha do espaçamento a ser empregado nos plantios: profundidade e tipo de solo, regime hídrico, forma de crescimento e desenvolvimento, finalidade dos plantios e desenvolvimento de copa, fatores operacionais (preparo de solo, tratos silviculturais, desbastes, colheita) (SMITH; STRUB, 1991).

O espaçamento tem forte relação com algumas características de desenvolvimento do eucalipto, tais como, qualidade da madeira, área basal, altura, disponibilidade de água e nutrientes, desrama natural, sobrevivência, idade de corte, custos de produção, dentre outros (BRASIL; FERREIRA, 1971; CHIES 2005; PEDROSA, 2018).

Em relação ao crescimento em diâmetro, estudos mostram que é uma característica altamente dependente do espaçamento, logo, árvores adensadas produzem diâmetros menores e apresentam maior área basal e volume por área, porém, refletem em um aumento da mortalidade e do número de árvores dominadas (BERGER *et al.*, 2000; PEDROSA, 2018). De acordo com Chies (2005), as consequências de espaçamentos maiores são, maior diâmetro, maior conicidade, copas mais expensas e galhos mais grossos, em relação a plantios mais densos.

Já em relação à altura, há controvérsias quando relacionada ao espaçamento, pois existem casos que com a redução do espaçamento a altura aumenta e em outros diminui (BALLONI; SIMÕES, 1980). Logo, a altura é menos influenciada pelo espaçamento do que o diâmetro, razão pela qual na modelagem do índice de sítio a altura média das árvores dominantes é usada como variável independente, associada à idade das árvores (CLUTTER *et al.*, 1983).

Uma análise econômica sobre as condições de mercado é indispensável para a escolha do melhor espaçamento, a fim de saber qual será o mercado consumidor da produção florestal e, a partir de então, traçar os objetivos de produção e o manejo a ser aplicado. Assim, pode-se concluir que o produto final é o motivo que determina o espaçamento a ser utilizado (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2003).

Além das práticas operacionais utilizadas, a obtenção de informações sobre o crescimento e a produtividade da floresta são essenciais para um bom planejamento e êxito do plantio (SILVA, 2009). A previsão do crescimento florestal, com uso de curvas de projeção do desenvolvimento em altura, diâmetro e volume, é necessária para um bom processo de planejamento racional, dado que por meio dessas curvas pode ser determinada a idade ótima e econômica de corte, além de permitir agrupar espécies e procedências, e analisar de forma eficiente os experimentos florestais, entre outros (BERGER *et al.*, 2000).

Para minimizar erros é necessário cuidado na obtenção das informações, principalmente, sobre o volume, visto que as estimativas são utilizadas em casos de negociações de serviços, ou venda da madeira em pé, segundo o inventário florestal (TONINI, 2004; SILVA, 2008).

3.4. MODELOS DE REGRESSÃO

A estimativa de crescimento de uma floresta é o principal objetivo de levantamentos florestais, por ser uma variável quantitativa, necessita de cálculos de forma adequada, pois é por meio dela que se pode fazer o gerenciamento e o planejamento correto dos recursos florestais (REGO *et al.*, 2019). É possível realizar a estimativa de uma variável dependente pela modelagem de dados por regressão, se tratando de uma técnica estatística que relaciona diversas variáveis, visando ajustar modelos com maior precisão (SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009).

Segundo Silva (2015), o modelo é definido como uma formulação matemática baseada em hipóteses que tentam retratar fenômenos físicos ou sistemas biológicos, formando uma equação que possa representar tais fenômenos a um determinado nível de confiabilidade α . Existem dois tipos de

modelos, sendo estes com estruturas lineares e não lineares. Os modelos lineares, são ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, ponderados ou generalizados (ABREU, 2019). Já os modelos não lineares são obtidos por procedimentos iterativos de minimização da soma dos quadrados dos resíduos e se ajustam melhor aos dados de fenômenos biológicos sendo utilizados para prognose do crescimento florestal (BATISTA; COUTO, 1986; SILVA *et al.*, 2017). A representação numérica do modelo é a equação, isto é, é o resultado final do ajuste do modelo ao conjunto de dados (SILVA, 2008).

Para comparar e selecionar as melhores equações de regressão, vários critérios estatísticos são utilizados, tais como: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa ($S_{y.x}$) e a distribuição gráfica dos resíduos (FINGER, 1992). Segundo Gujarati e Porter (2011), outros aspectos importantes a serem avaliados para seleção de um modelo, são a homogeneidade da variância, independência e normalidade dos erros.

3.5. RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS

A variável altura é uma das mais importantes características da árvore, assim como o diâmetro. Ela é utilizada para cálculos de volume e de incrementos em altura e volume, servindo como base para o planejamento florestal (RESTSLAFF, 2015). A altura entra como segunda variável independente nos métodos estimativos, nas tabelas de funções de afilamento, volume e outras variáveis dendrométricas (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

A obtenção desta variável é um dos processos mais onerosos e muitas vezes se torna inviável quando se realiza um inventário, no qual, necessita-se medir todas as árvores que compõe a amostra. Além de onerosa, determinar a altura de todas as árvores pode acarretar mais erros do que a estimar, estes erros podem ser sistemáticos, ocasionados pelo instrumento de medição, do operador, que pode não apresentar conhecimento técnico específico para realizar a tarefa ou dificuldades de visualizar a copa das árvores (RESTSLAFF, 2015; SOARES *et al.*, 2017). Por isto, na realização do inventário florestal, costuma-se medir a altura de apenas algumas árvores da amostra, e assim gerar uma equação que relacione a variável diâmetro, estimando assim a altura dos indivíduos (SCHIMITT, 2017).

Desta forma, a relação entre altura e diâmetro (relação hipsométrica) é essencial no processo de inventário florestal para estimar a altura total da árvore, sendo importante conhecer essa relação ao longo da rotação de uma espécie é de fundamental importância na modelagem do crescimento em classes de diâmetro (RESTSLAFF, 2015).

Por intermédio de modelos hipsométricos, isto é, equações ajustadas que descrevem altura-diâmetro da árvore, é possível obter estimativas precisas da altura da árvore; porém, os padrões hipsométricos diferem em vários quesitos, de acordo com a tipologia vegetal, tipos de sítios (dentro de uma mesma tipologia florestal) e em virtude heterogeneidade ambiental e estrutural (dentro de um mesmo sítio) (BATISTA; COUTO; MARQUESINI, 2001). Visto isto, é essencial a escolha de modelos mais adequados para estimar a altura, de acordo com as características de cada povoamento, tendo em vista que existem equações que melhor se adaptam a cada caso (KREFTA *et al.*, 2019).

Existem duas situações que podem ser consideradas na relação altura- diâmetro. A primeira é referente a povoamentos em sítios bem definidos e bem formados, neste caso, espera-se uma correlação alta entre as variáveis diâmetro e altura, pois haverá maior homogeneidade no povoamento considerado (WOJCIECHOWSKI, *et al.*, 2021). Na segunda situação, em povoamentos mais antigos, mal-conduzidos ou em sítios não muito bem definidos, espera-se uma correlação baixa entre as variáveis diâmetro e altura, havendo uma maior heterogeneidade na população considerada (SCOLFORO, 1997).

Há diversos modelos estatísticos na literatura, que podem descrever a relação hipsométrica de árvores, dentre eles existem alguns tradicionais como o de Curtis, Parabólico, Scolforo, entre outros (RIBEIRO *et al.*, 2010). De forma geral, o ajuste da relação hipsométrica se dá por uma parábola de segundo grau, equações logarítmicas, dentre outras (WOJCIECHOWSKI, *et al.*, 2021).

As equações hipsométricas são classificadas em: equação de simples entrada (modelos locais), de dupla entrada ou mais entradas. Modelos locais são considerados modelos tradicionais aqueles onde a altura é estimada em função de apenas da variável diâmetro medida a 1,30 m do solo (DAP), sendo estas relações ajustadas para serem aplicadas no povoamento onde foi realizada a coleta de dados (RONDEUX, 1993; SCOLFORO, 1993). Este tipo de relação é muito comum no manejo florestal, para o cálculo de volume dos seus povoamentos.

Já em modelos hipsométricos de dupla entrada, a relação altura-diâmetro pode variar de acordo com algumas características do povoamento, tais como idade do plantio, altura média, altura dominante, densidade, entre outros (ALMEIDA; MARQUES, 2006). Em populações onde já se conhece tais características se pode utilizar os modelos hipsométricos, considerados genéricos, que permitem estimar altura em função de vários parâmetros do povoamento (SCOLFORO, 1993).

A precisão da relação hipsométrica depende da estrutura e homogeneidade do plantio (WOJCIECHOWSKI, *et al.*, 2021). Segundo Scolforo (1993), é preciso analisar alguns fatores que interferem no desenvolvimento do povoamento, para poder selecionar o melhor modelo, tais como

espécie, ciclo, idade, rotação e posição sociológica. Além disto, a equação ajustada deve possuir menor quantidade de variáveis independentes e ser de fácil mensuração (SILVA, 1977; SILVA, 2008/2009).

Segundo Finger (1992), alguns autores usam apenas um parâmetro estatístico como critério de seleção do melhor modelo de regressão, o que é bastante perigoso, por não definir com certeza a viabilidade do modelo ajustado. As estatísticas do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa ($S_{y.x}$) e a distribuição gráfica dos resíduos, quando usadas em conjunto possibilitam selecionar eficientemente um modelo hipsométrico (FINGER, 1992).

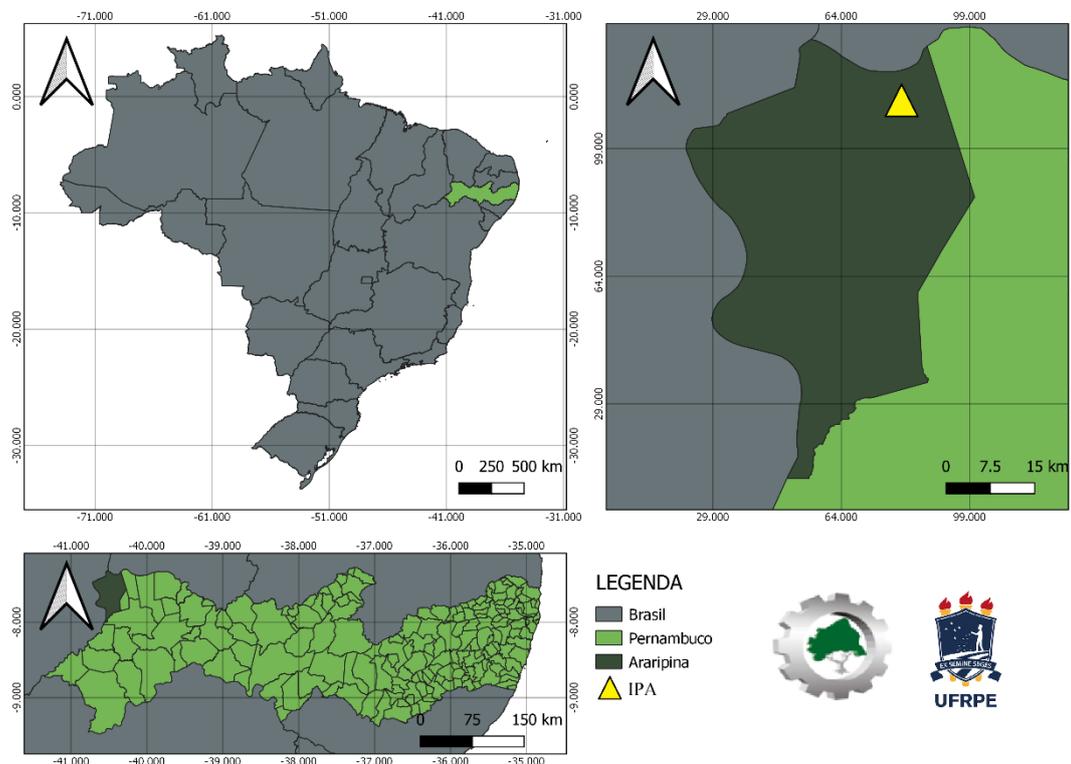
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento está localizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizada na Chapada do Araripe, município de Araripina, no Semiárido de Pernambuco, com coordenadas geográficas 07°27'37'' S e 40°24'36'' W e altitude de 831 metros. O clima predominante é do tipo BSh de Köppen, quente e seco das baixas latitudes, com chuvas de verão. O tipo de solo presente é o Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA SOLOS, 2006).

A precipitação média anual é de 760 mm, concentrando-se entre os meses de dezembro a abril, conferindo déficit hídrico em mais da metade do ano (ITEP/LAMEPE, 2009). Nos últimos anos a precipitação está muito abaixo da média anual climatológica, o que amplifica ainda mais processos como a seca (Tabela 1). A temperatura média anual é de 24,6° C, a máxima é de 33° C e a mínima de 15,9° C (SILVA, 2008).

Figura 1. Área experimental com plantio de híbridos de *Eucalyptus* spp. localizadas na Estação Experimental do Araripe (IPA)



Fonte: AUTOR.

4.2. CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO

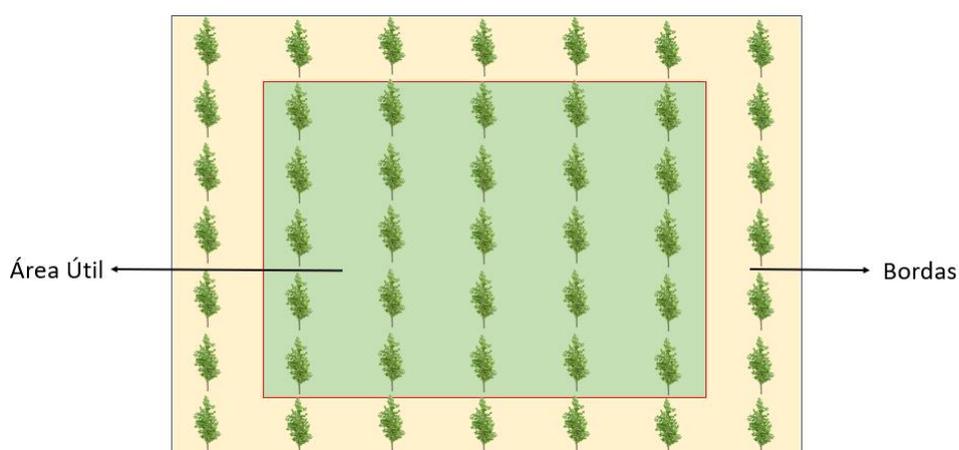
Foi avaliado o clone C39 (híbrido de *E. urophylla* – cruzamento natural), plantado em cinco densidades populacionais diferentes e conduzidos em um sistema de alto fuste. O experimento foi implantado em março de 2010, onde se retirou a vegetação competidora para abertura dos sucos. Foi realizada a correção da acidez do solo e adubação de fundação conforme recomendação da análise do solo. Para auxiliar a retenção de água e garantir a umidade do solo, foi utilizado o hidrogel (polímero hidro retentor).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados no módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina – PE.

Clone	Descrição	Espaçamento	Dimensão da Parcela	Área da parcela (m ²)	Plantas por hectare
C39	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i>	2m x 1m	14m x 7m	98	5000
		2m x 2m	14m x 14m	196	2500
		3m x 2m	21m x 14m	294	1667
		3m x 3m	21m x 21m	441	1111
		4m x 2m	28m x 14m	392	1250

Foi estabelecido quatro repetições por espaçamento, com parcelas de forma retangulares com 49 árvores, sendo 25 árvores na área útil da parcela (desconsiderando as árvores de borda).

Figura 2. Desenho esquemático da parcela, com demonstração da área total e o detalhado limite da área útil.



Fonte: AUTOR

4.3. COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em março de 2018, com o plantio com idade de 96 meses de idade (oito anos). Para esta pesquisa foram utilizadas 500 árvores de áreas úteis das parcelas. Foi realizada cubagem rigorosa de cada indivíduo, onde foram feitas as medições da altura total, altura comercial e circunferências a 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10; 1,30; 1,50; 1,70; 2,30 m; e daí por diante de 1,00 em 1,00 metro até a altura comercial. Foi utilizada uma trena graduada para obtenção da altura e uma fita métrica graduada em centímetros com aproximação em milímetros para obtenção das circunferências.

4.4. MODELOS HIPSOMÉTRICOS

Foram avaliados sete modelos hipsométricos tradicionalmente apresentados na literatura florestal (Tabela 2), com a finalidade de identificar qual o mais adequado na estimativa da variável altura total em função do diâmetro na altura do peito (DAP) medido a 1,3 m do nível do solo.

Tabela 2. Modelos hipsométricos selecionados para estimativa da altura total de árvores de *Eucalyptus*, em experimento realizado na Estação Experimentação do Araripe (IPA) em Araripina-PE.

Número	Modelo	Autor
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon_i$	Henriksen
2	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon_i$	Trorey (1932)
3	$H = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} + \varepsilon_i$	Prodan (1968)
4	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon_i$	Stoffels
5	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP}\right) + \varepsilon_i$	Silva (1980)

Em que: β 's = coeficientes dos modelos; H = altura total (m); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); ln = Logaritmo neperiano.

Os modelos foram ajustados de acordo com cada espaçamento de plantio, sendo indicado o(s) melhor(es) modelo(s) em cada espaçamento estudado de acordo com critérios estatísticos adotados.

4.4.1. Seleção da melhor equação

A escolha da melhor equação de regressão foi baseada nos seguintes critérios: Índice de Ajuste de Schlaegel (SCHLAEGEL, 1981), Índice de Furnival (IF), erro padrão da estimativa (Sxy),

significância dos coeficientes de regressão (β) e análise gráfica do resíduo (E%). Todos critérios foram avaliados em conjunto para determinação do valor ponderado dos escores estatísticos (VP).

4.4.1.1. Correção da Discrepância Logarítmica

Quando um modelo na forma logarítmica é ajustado, deve-se realizar uma correção para a discrepância logarítmica, descrita por Meyer (1941). O fator de correção é obtido por meio da seguinte fórmula:

$$f_c = e^{0,5 \cdot QMRes}$$

Em que:

f_c = Fator de Correção

QMRes = Quadrado Médio dos Resíduos

Os valores estimados de altura devem ser multiplicados pelo fator de correção e em seguida se deve recalculer a soma de quadrados. Logo, quando houver modelos logaritmicados se deve utilizar o fator correção de Meyer e então recalculer o erro padrão da estimativa.

4.4.1.2. Índice de Ajuste da Schlaegel

O Índice de Ajuste de Schlaegel (IA) é uma estatística comparável ao R^2 para modelos lineares. Ela consiste em uma retransformação das predições dos valores estimados para as unidades originais. Quando se trata de equações aritméticas o valor de (IA) é igual ao valor de R^2_{aj} ; porém, para equações ponderadas e logaritmicadas, deve-se recorrer ao cálculo do I.A., pois o valor será diferente do R^2_{aj} .

$$I.A = 1 - \frac{n - 1}{n - p} \frac{SQ_{residuo}}{SQ_{total}}$$

Em que:

I.A. = Índice de Ajuste de Schlaegel

SQ= Soma de quadrados

n= número de observações

p= número de variáveis independentes ou número de coeficientes

4.4.1.3. Índice de Furnival

O índice de (IF) (FURNIVAL, 1961) permite corrigir tendenciosidades decorrentes do emprego dos logaritmos em modelos linearizados. Ele é utilizado com objetivo de equiparar modelos testados logaritmos e não-logaritmos, para corrigir o erro padrão da estimativa. Quanto menos o valor do índice, melhor o modelo.

O índice foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Silva e Bailey (1991), que propuseram uma correção no índice original, proposto por Furnival (1961). A expressão Geral para o cálculo é:

$$IF = f'(V)^{-1} \cdot \exp\left(\frac{n-p}{2n}\right) \cdot s$$

Em que:

f' = derivada da variável dependente em relação a V;

V = valor estimado pela equação de regressão;

n = número de observações;

p = número de parâmetros;

s = erro padrão residual.

4.4.1.4. Erro Padrão da Estimativa

Essa medida expressa a dispersão entre os valores observados e estimados, quanto mais próximo de zero, mais preciso. Esse valor é expresso por:

$$S_{xy} = \sqrt{QMres}$$

Em que:

S_{xy} = Erro padrão da estimativa;

QMres = quadrado médio do resíduo.

Para expressar o erro padrão da estimativa em porcentagem, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$S_{xy}(\%) = \frac{S_{xy}}{\bar{Y}} \cdot 100$$

Em que:

S_{xy} = Erro padrão da estimativa;

\bar{Y} = média das variáveis dependentes.

4.4.1.5. Análise Gráfica do Resíduo

A análise gráfica do resíduo é um método considerado subjetivo já que por si só não garante que as condições de homocedasticidade, média nula e de independência dos erros estejam satisfeitas, no entanto, quando tais condições são garantidas por meio de outros métodos, a análise gráfica permite verificar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão, permitindo assim decidir a equação apropriada. O resíduo é expresso por:

$$E = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) 100$$

Em que:

E%= resíduo em percentagem;

Y_i = volume real da árvore em m³;

\hat{Y}_i = volume estimado da árvore em m³;

4.4.1.6. Valor ponderado dos escores estatísticos (VP)

Para obtenção do VP de cada modelo ajustado, foi atribuído pesos de 1 a 5 para os valores de cada parâmetro, visto que foram ajustados 5 modelos, que foram então somados. Para isto, adotou-se a regra: quanto maior os valores do IA, foi atribuído peso 1 e para o menor valor peso 5; enquanto para o menor valor de $S_{xy}(\%)$ e do IF, foi atribuído peso 1 e para o maior valor peso.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, observou-se que todos os modelos apresentaram boa relação dendrométrica para altura total em função do seu DAP, em todos os espaçamentos estudados. Isto pode ser observado pelo Índice de Ajuste de Schlaegel (IA), que é estatística comparável ao R^2_{aj} , que variou de 0,8504 a 0,9857, explicando alta correlação entre as variáveis analisadas. Segundo Scolforo (1998), tratando-se de relações hipsométricas é comum o valor do R^2_{aj} não ultrapassar os 80%, visto que, a correlação entre altura/diâmetro não é tão forte quanto altura/volume, porém os resultados da presente pesquisa se mostraram muito superiores. Um dos fatores que podem ter melhorado os ajustes é a idade do plantio (ARAÚJO, 2012). Em estudos com relação hipsométrica com Candeia em diferentes espaçamentos, Araújo *et al.* (2012) observaram que a quanto mais velho o plantio maior o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e menor erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), para o espaçamento 1,5 m x 1,5 m.

A estatística F se mostrou significativa ao nível de 5% de significância para todos os modelos ajustados em todos os espaçamentos ($p \leq 0,05$), ou seja, os modelos são significativos ao nível de significância estabelecido, logo, pelo menos uma variável independente está relacionada com o valor da variável dependente (SOARES, *et al.*, 2017).

Tabela 3. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos nos ajustes dos modelos hipsométricos para híbrido de *Eucalyptus urophylla*, distribuídos em diferentes espaçamentos, em plantio experimental na Chapada do Araripe.

Espaçamento	Modelos	b_0	b_1	b_2	$S_{xy}\%$	IF	IA	VP
2 m x 1 m	Henriksen	-1,5904*	6,6463*	-	9,79	1,0574	0,9196	9
	Trorey	0,9990*	1,7963*	-0,0504*	9,05	0,9778	0,9313	6
	Prodan	0,3712*	0,2923*	0,0399*	5,55	0,5993	0,9764	3
	Stofells	1,0913*	0,6568*	-	10,44	1,6592	0,9096	16
	Silva	1,4163*	0,5440*	-0,6412*	9,93	1,6448	0,9182	13
2 m x 2 m	Henriksen	-2,9179*	7,1946*	-	8,51	0,9854	0,9126	10
	Trorey	0,1824*	1,9234*	-0,0563*	8,50	0,9839	0,9129	7
	Prodan	0,5439*	0,3034*	0,0376*	4,31	0,4987	0,9743	4
	Stofells	0,9282*	0,7293*	-	9,66	2,1390	0,8874	18
	Silva	1,9322*	0,3850*	-2,0957*	8,55	2,0209	0,9119	10
3 m x 2 m	Henriksen	-3,1447*	7,30152*	-	9,90	1,1548	0,9123	11
	Trorey	-0,3364*	2,00607*	-0,0585*	9,07	1,0581	0,9264	6
	Prodan	0,9569*	0,19178*	0,04385*	6,21	0,7240	0,9658	3
	Stofells	0,92245*	0,72391*	-	10,63	1,8681	0,8989	16
	Silva	1,5791*	0,50062*	-1,349*	9,77	1,7723	0,9145	11

3 m x 3 m	Henriksen	-1,3070*	6,2626*	-	8,19	1,0608	0,8901	10
	Trorey	1,7889*	1,5754*	-0,0427*	8,21	1,0642	0,8894	13
	Prodan	1,2368*	0,0925*	0,0526*	5,44	0,7043	0,9857	3
	Stofells	1,2560*	0,5570*	-	9,55	2,2101	0,8504	19
	Silva	2,7044*	0,1039*	-3,5920*	8,04	1,8974	0,8940	11
4 m x 2 m	Henriksen	-3,4208*	7,3463*	-	9,50	1,0952	0,9212	11
	Trorey	-0,0005*	1,8591*	-0,0502*	9,14	1,0531	0,9271	6
	Prodan	0,4484*	0,3648*	0,0337*	5,05	0,5820	0,9769	3
	Stofells	0,8578*	0,7460*	-	10,22	1,9305	0,9088	16
	Silva	1,7367*	0,4482*	-1,8208*	9,24	1,7811	0,9255	11

Em que: b_i = coeficientes dos modelos; $S_{xy}\%$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem; IF = Índice de Furnival; IA = Índice de Ajuste da Schlaegel, VP = Valor Ponderado dos Escores Estatísticos e (*) = significância a 5%.

Pode-se visualizar, na Tabela 3, que para o espaçamento 2m x1m, os valores dos parâmetros variaram de: 0,9096 a 0,9764 para o IA, 5,55 a 10,44% para o $S_{xy}\%$, 0,5993 a 1,6592 para o IF. Já para o espaçamento 2x2 m, os valores dos parâmetros variaram de: 0,8874 a 0,9743 para o IA, 4,31 a 9,66% para o $S_{xy}\%$, 0,4987 a 2,1390 para o IF (Tabela 3).

O espaçamento 3m x 2 m, comportou-se semelhante aos tratamentos anteriores, onde os valores dos parâmetros foram entre: 0,8989 e 0,9658, 6,21 a 10,63 % para o $S_{xy}\%$, 0,7240 a 1,8681 para o IF (Tabela 3). A variação dos valores dos parâmetros para o espaçamento 3m x3m, foram: 0,8504 a 0,9857 para o IA, 5,44 a 9,55 % para o $S_{xy}\%$, 0,7043 a 2,2101 para o IF (Tabela 3). Para o espaçamento 4m x 2m, obteve valores para os coeficientes que variaram de: 0,9088 a 0,9769 para o IA, 5,05 a 10,22 % para o $S_{xy}\%$, 0,5820 a 1,9305 para o IF (Tabela 3).

Os modelos se comportaram de forma semelhante em todos os espaçamentos estudados e não havendo grandes diferenças entre os valores dos parâmetros avaliados. Logo, a densidade do plantio não influenciou significativamente na relação altura/DAP dos indivíduos. Cerqueira *et al.* (2019) observaram comportamento diferente da presente pesquisa, e concluíram que o espaçamento e o arranjo do eucalipto em sistema consorciado de produção, influenciam de forma significativa na relação hipsométrica.

Analisando a Tabela 3, o modelo 3 apresentou melhor ajuste e precisão entre os avaliados, seguido pelos modelos 2, 1, e 5, em todos os espaçamentos estudados. Os valores médios do Índice de Ajuste da Schlaegel para estes modelos foram de 0,9758; 0,9174 e 0,9112, 0,9128, respectivamente. O modelo 4 foi o menos acurado entre os demais, sendo classificado como pior modelo para esta situação. Quanto mais próximo de um, maior a correlação entre as variáveis estudadas, para o Índice de Ajuste da Schlaegel, logo, os quatro modelos apresentam ótima correlação

entre DAP e altura. Em pesquisas com ajustes de modelo hipsométrico em povoamento de *Eucalyptus grandis* no Rio Grande do Sul, Pfeifer *et al.* (2018), obtiveram valores de R_{aj}^2 acima de 80%, corroborando com a presente pesquisa.

Santos *et al.* (2014), em estudos com relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, concluíram que o modelo Prodan é o mais preciso, com valor de R_{aj}^2 (%) em torno de 79%, sendo superior a modelos como Curtis, Stofel, Silva, Henriksen e parabólico.

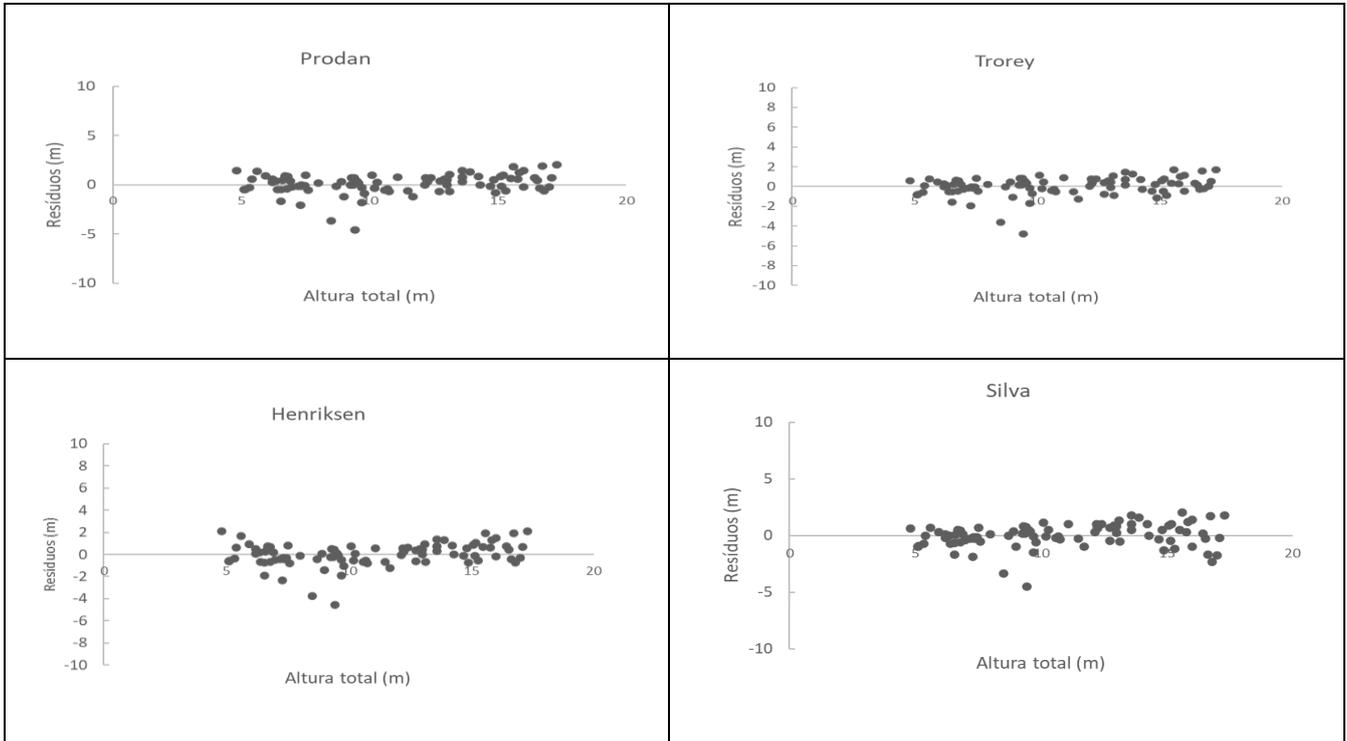
O erro padrão da estimativa (S_{xy}), explica a dispersão entre os valores observados e estimados, quando mais próximo de zero, mais preciso o modelo ajustado. Os valores médios do S_{xy} (%), para os modelos 3, 2, 1 e 5, foram 5,31; 8,79; 9,18 e 8,73 % (Tabela 3), corroborando com trabalho realizado por Ferreira (2018), em trabalho modelagem hipsométrica de clones de *Eucalyptus spp.* na Chapada do Araripe em sistema de alto fuste, observou que os modelos de Henriksen e Trorey obtiveram valores de S_{xy} (%) de 8,7 e 8,8%, sendo o primeiro considerado o modelo mais preciso no sistema de alto fuste.

O Índice de Furnival (IF) é utilizado para corrigir possíveis tendenciosidades causados pelo emprego de logaritmos em modelos linearizados, assim corrigindo o erro padrão da estimativa (FURNIVAL, 1961). Quanto menor o valor, mais preciso é o modelo. Os modelos 3, 2 e 1 (não logaritmos) obtiveram valores de 0,62; 1,03 e 1,07 para o IF, já o modelo 5 (logaritmo) foi menos preciso, com valor de 1,82 (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Pfeifer *et al.* (2018), onde os modelos logaritmizados resultaram em acréscimos médios de 26% em relação a modelos não logatimizados.

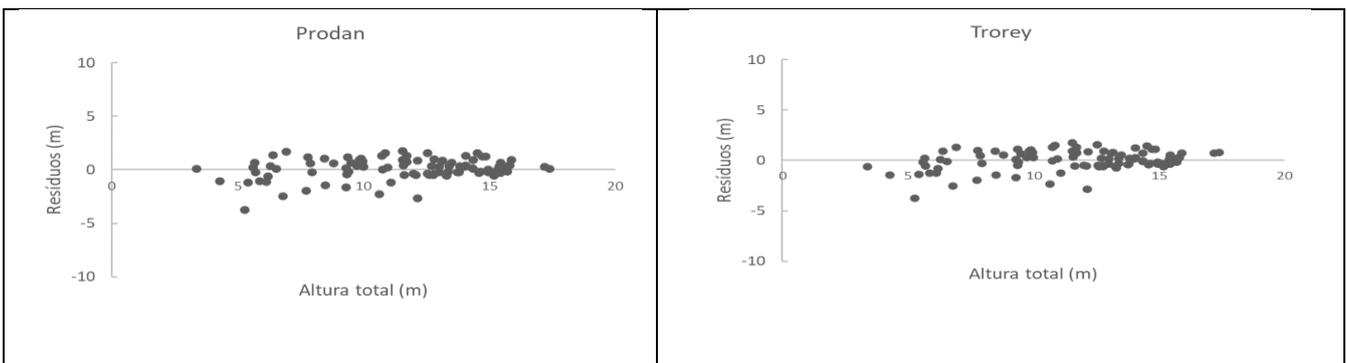
A análise gráfica dos resíduos (Figura 3) também foi utilizada para avaliar a melhor equação, porém todas se comportam de forma similar, demonstrando a inexistência de tendenciosidade ao longo da linha de regressão. Algumas poucas árvores apresentam valores de resíduos mais dispersos, principalmente entre os diâmetros de 5 cm a 10 cm, no entanto, para o maior número de árvores, o valor dos resíduos está bem distribuído e balanceado ao longo de toda amplitude da variação dos diâmetros. Ferreira (2018) obteve resultados que corroboram com a presente pesquisa, onde a análise gráfica dos resíduos não se mostrou eficaz, visto que todos os modelos testados tiveram comportamento similares

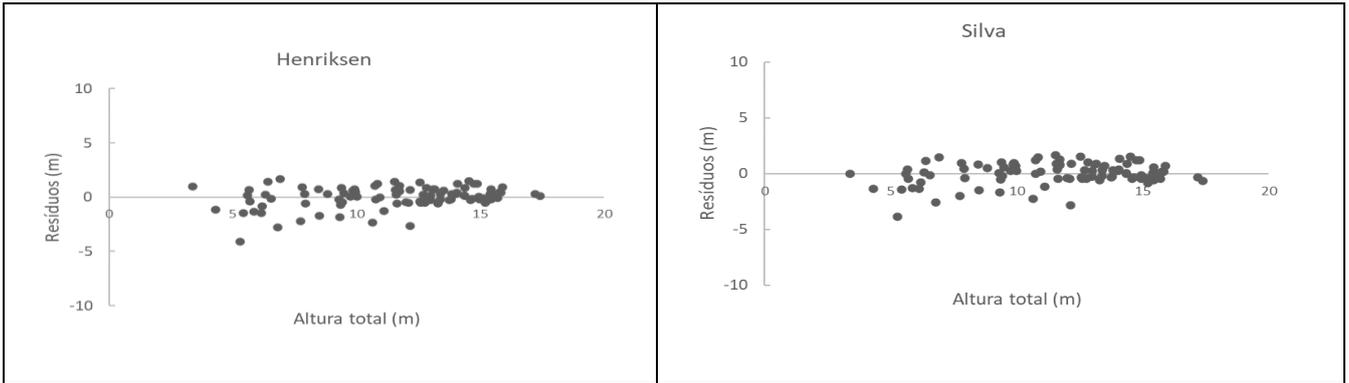
Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos de diferentes modelos hipsométricos, em função da altura total observada, para híbrido de *Eucalyptus urophylla*, distribuídos em diferentes espaçamentos, em plantio experimental na Chapada do Araripe.

Espaçamento 2m x 1m

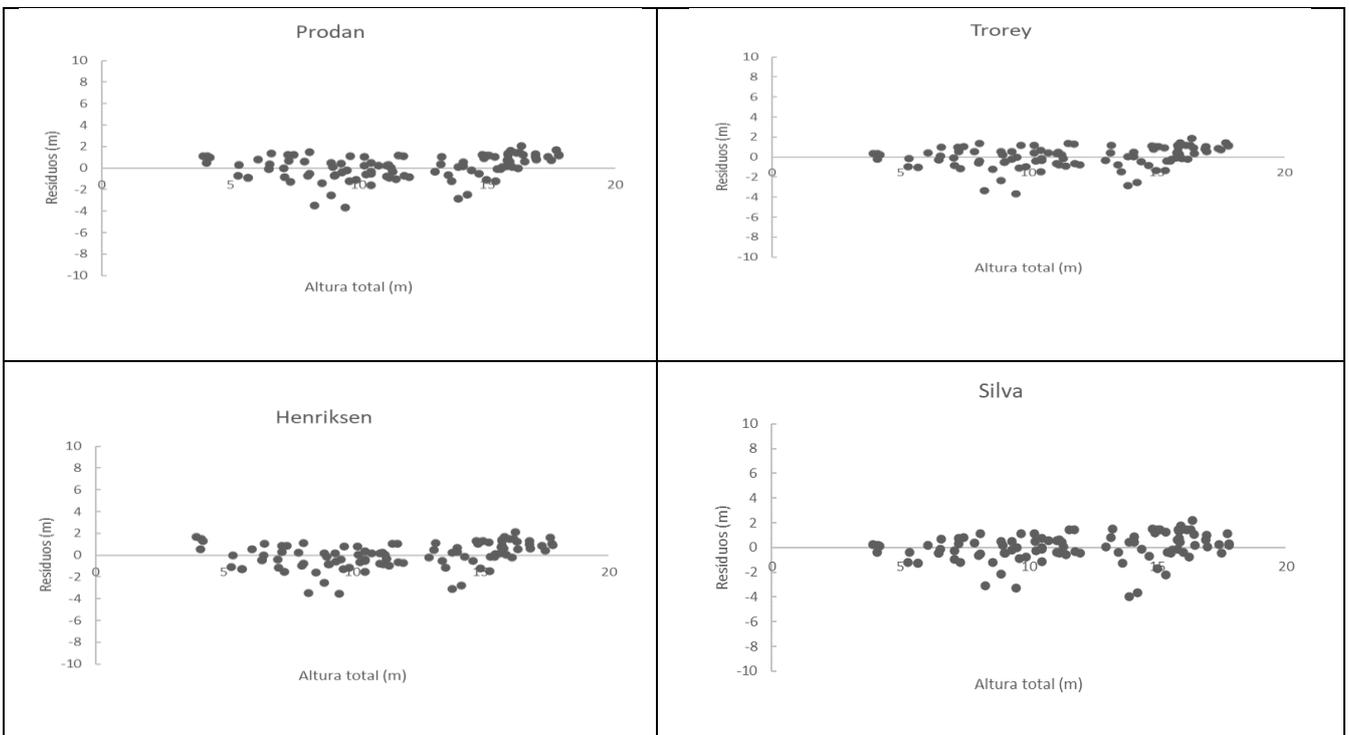


Espaçamento 2m x 2m

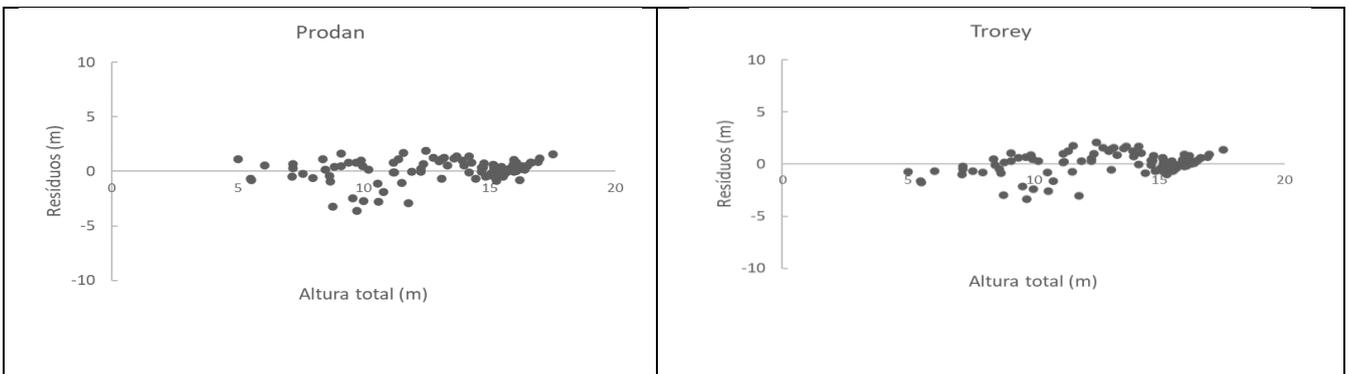


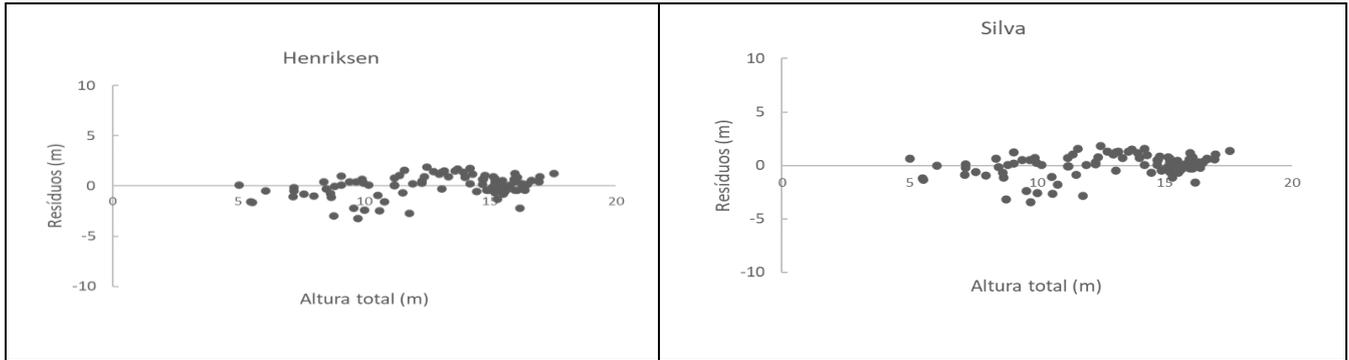


Espaçamento 3m x 2m

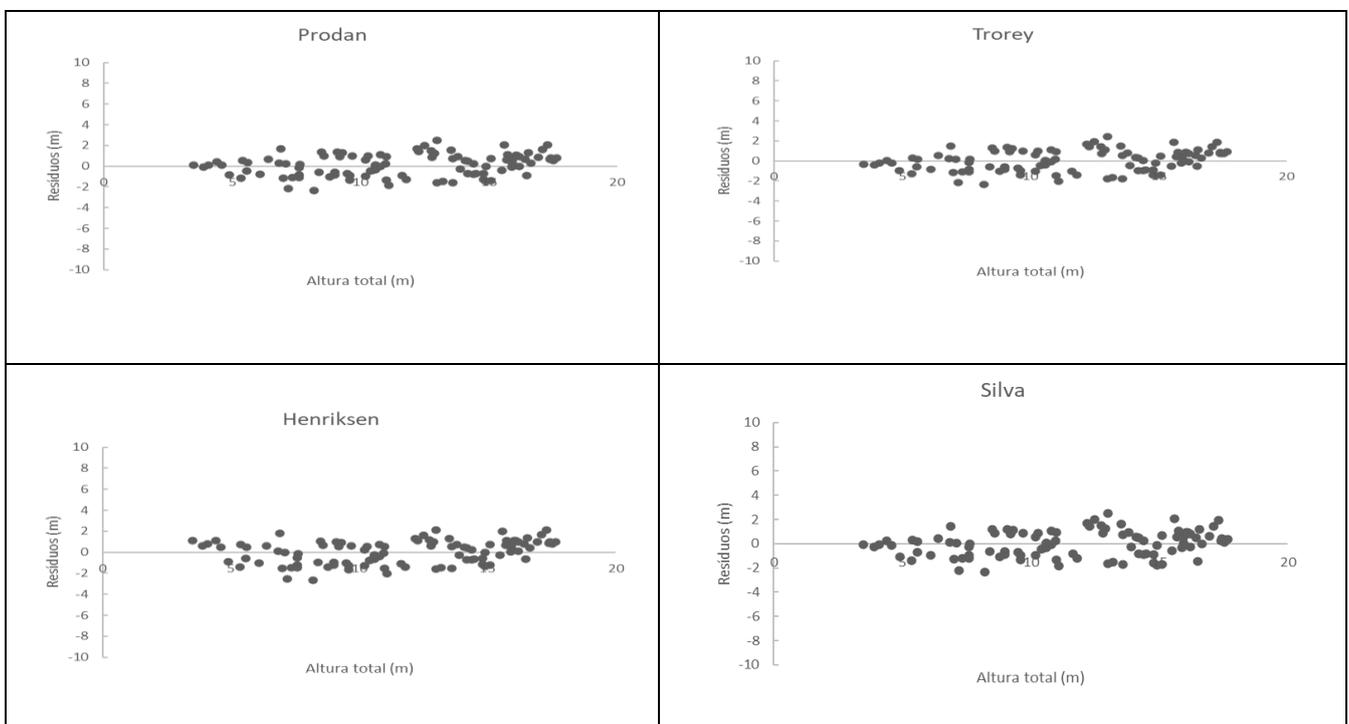


Espaçamento 3m x 3m





Espaçamento 4m x 2m

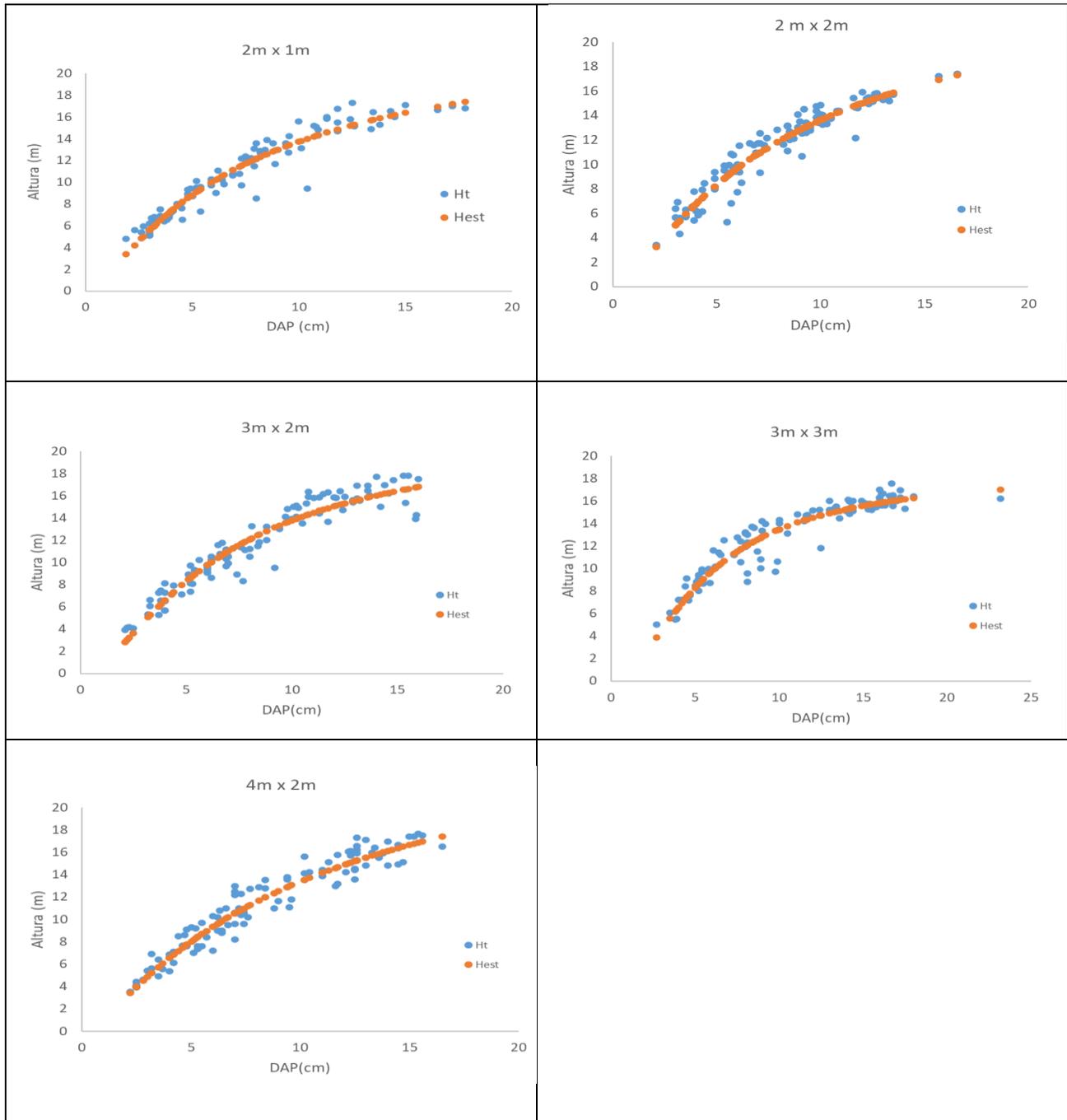


Assim, considerando a significância dos coeficientes da regressão, as melhores medidas de precisão de ajuste dos modelos hipsométricos e uma distribuição de resíduos aleatória e homogênea em torno da média zero, o modelo de Prodan se mostrou mais acurado para estimar a altura total das árvores do povoamento. Como pode ser observado na Figura 4, as curvas hipsométricas do modelo Prodan, representaram bem as alturas observadas em todos os espaçamentos.

Jesus *et al.* (2015) reportaram resultados semelhantes ao presente estudo, selecionando o modelo Prodan como melhor modelo para estimar altura total de um povoamento clonal de

Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* no Distrito Federal. Souza *et al.* (2015), em estudos com modelagem da relação hipsométrica de eucalipto na Amazônia, observaram que o modelo Prodan, apresentou com ajuste e precisão, com valor de 0,99 para R_{aj}^2 e 4,83% para o erro padrão da estimativa, resultados semelhantes aos obtidos pelo presente trabalho.

Figura 4. Curva hipsométrica pelo modelo de Prodan, em diferentes espaçamentos de um híbrido de *Eucalyptus urophylla*, em plantio experimental na Chapada do Araripe.



Portanto, o modelo Prodan, é o mais viável para futuros inventários florestais na região da Chapada do Araripe, dentro dos arranjos espaciais estudados, em uma floresta adulta. O uso deste modelo garantirá estimativas de alturas precisas, facilitando o processo do inventário florestal e diminuindo os gastos e erros associados as medições dessa variável. Outros modelos como o de Trorey, Henriksen e Silva, também podem ser ótimas opções para estimativas de altura, porém com menor acurácia do que o modelo em destaque.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos das análises estatísticas foi observado que o espaçamento não influenciou na escolha da melhor equação, e todas se comportaram de forma semelhante em relação a densidade populacional.

O modelo Prodan mostrou melhor medida de qualidade de ajuste e maior precisão, sendo indicado como modelo a ser utilizado na predição da altura de híbridos de *Eucalyptus urophylla* com idade de oito anos, na Chapada do Araripe-PE. Os modelos Trorey, Henriksen e Silva também se destacaram positivamente, com bons ajustes e alta precisão, podendo também serem utilizados para estimativas de altura.

7. REFERÊNCIAS

ABREU, Y.K.L. **Emprego de funções de densidade de probabilidade na modelagem da distribuição diamétrica de clones de *Eucalyptus* spp. no polo gesseiro do Araripe.** 2018. 113 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

ABREU, J. C. **Alternativas para estimar o volume de árvores individuais em formações florestais no estado de Minas Gerais.** 2019. 82 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

ALMEIDA, L. R.; MARQUES, C. P. **Caracterização dendrométrica dos Povoamentos de Pinheiro Silvestre em Trás-os-Montes e Alto Douro.** Universidade de trás-os-Montes e Alto de Douro, Quinta de Prados, 2006, p. 5001-5011.

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de Eucalipto, no Polo Gesseiro do Araripe – PE.** 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

ANDRADE, E. N. **Manual do plantador de eucalyptus.** São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Comp., 335 p., 1911.

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Modelagem da relação hipsométrica empregando dados amostrados na cubagem de árvores e em parcelas de inventário. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 157-164, 2011.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L. P.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 257-268, jul./set. 2012.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study.** Oxford, Pergamon Press, 1970, 506p.

AZEVEDO, C. P. *et al.* Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, 1999.

BALLONI, E.A.; SIMOES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série técnica.** IPEF, Piracicaba, v. 1, n.3, p.1-16, 1980.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.32, p.33-42, 1986.

BATISTA, J. L.; COUTO, H. T. Z., MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**. n. 60, p. 149-163, 2001. doi: <http://dx.doi.org/10.13086/2316-980x.v01n03a04>

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 106 p. Santa Maria, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *E. alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

Caatinga: um dos biomas menos protegidos do Brasil. **Fundação Joaquim Nabuco**. 2019. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/conselho-nacional-da-reserva-da-biosfera-da-caatinga/9762-caatinga-um-dos-biomas-menos-protegidos-do-brasil>>. Acesso em: 28 de jun. de 2021.

CERQUEIRA, *et al.* Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na relação hipsométrica de eucalipto em sistema consorciado de produção. **Nativa, Sinop**, v. 7, n. 6, p. 763-770, nov./dez. 2019.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 137 p. Dissertação. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005.

CLUTTER, J. L. *et al.* **Timber Management: a quantitative approach**. New York: John Wiley e Sons, 1983. 383p.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual** – Pernambuco: Anos base 2010 – 2013. Brasília, 2016.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual** – Pernambuco: Anos base 2017. Brasília, 2018.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERREIRA, R. S. **Modelagem hipsométrica de clones de *Eucalyptus spp.* na Chapada do Araripe– PE**. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1992. NÚMERO DE PÁGINAS?

FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. **Forest science**, Madison, n. 7, v.4, p. 337-41, 1961.

GADELHA, F. H. L. **Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos**. 2014. 147 f. Tese (Do utorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.
GUJARATI, D. M.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5.ed. Editora Buckman. 2011. NÚMERO DE PÁGINAS

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE**. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2019_v34_informativo.pdf>. Acesso em: 03 de julho de 2021.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório, 2020**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em 22 de Dezembro de 2020.

ITEP / LAMEPE. **Médias históricas da chuva (mm) de janeiro a dezembro para o Estado de Pernambuco (1980 – 2008)**. Disponível em: <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 03 julho de 2021.

KREFTA, S. A. *et al.* Relação hipsométrica para povoamento de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan em Dois Vizinhos, Paraná. **Acta Biológica Catarinense**, v. 6, n. 2, p. 52-62, 2019.

JESUS, C. M. *et al.* Modelagem hipsométrica em povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no Distrito Federal. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 1298-1308, 2015.

LIMA, R. *et al.* Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floram, Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013.

LOETSCH, F.; ZOEHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munchen: BVL, v. 2, 1973. 469p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ed. Guarapuava: Unicentro, 2009. 316p.

MELO, K. K. S. *et al.* Caracterização química e Mineralógica dos Resíduos da Mineração de Gipsita no Semiárido Pernambucano. **HOLOS**. v. 6, n. 33, 195 p. 2017.

MEYER, H. A. A correction factor for a systematic error occurrence in the application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania Forest School Research, 1941. 3 p.

OLIVEIRA NETO, S. N. *et al.* Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

OLIVEIRA, F.G.R.B, *et al.* Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, vol. 7, n.13. p.331-338, 2011.

PEDROSA, M. F. C. **Influência do espaçamento no incremento das variáveis altura e diâmetro de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe – PE**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

PFEIFER, M. *et al.* Ajuste de modelo hipsométrico para povoamentos da espécie *Eucalyptus grandis* no estado do RS. In: 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE, 2018, Santana do Livramento. **Anais Eletrônicos**, Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2018. P. NÚMERO DE PÁGINAS?

RETSLAFF, A. P. S. *et al.* curvas de sítio e relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais, Paraná. **Revista Cerne**, v. 2, n. 2, p. 219-225, 2015.

REGO, A. M. *et al.* Modelos de equações volumétricas para um povoamento de eucalipto situado em Codó (MA). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.1-8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0001>.

RIBEIRO, C. A. S. *et al.* **Seleção de modelos volumétricos para leucena no agreste de Pernambuco**. Brasil Florestal, Brasília, DF, ano 20, n. 72, nov. 2001.

ROCHA, M. F. A. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ROGLIN, A. *et al.* Relações hipsométricas para Lauraceae. In: Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal, 4, 2008, Santa Maria - RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008. v. 4. p.363-367.

RONDEUX, J. (1993). **La mesure des arbres et des peuplements forestiers**. Press. Agronomiques de Gembloux. 526p.

SANQUETTA, C. R.; WATZALAWICK, L. F.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2 ed. Curitiba-PR: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316 p.

SANTOS, M. L. *et al.* Estimativa da relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no município de Moju, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 1039- 1048, 2014.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009, 294 p.

SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2016. NÚMERO DE PÁGINAS?

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SESSIONS, J.; BETTINGER, P. Hierarchical planning: Pathway to the future? In: Proceedings of the first international precision forestry cooperative symposium. **Proceedings... Washington**. 2001. P. 185-190.

SILVA, J. A. A. **Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., Segundo a Espécie, Região e Método de Regeneração**. 1977. 93

p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1977.

SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. Uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 12, p. 199-206, 1991.

SILVA, J. A. A. potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Polo Gesseiro do Araripe Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 5 e 6, p.301-319, 2008-2009. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/175/159>. Acesso em: 22 de Dezembro de 2020.

SILVA, J.A.A. da. Conceitos e princípios básicos de modelagem matemática em ciências florestais. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 11/12, p.195-215, 2015.

SILVA, J. A. A. *et al.* Modelagem do crescimento volumétrico de clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) no Polo Gesseiro do Araripe-PE. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, 13: 173-190. 2016-2017.

SILVA, S. M. F. S. **Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volumes da primeira tora em clones de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe-PE. 2008.** 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, K. K. M *et al.* Caracterização química e mineralógica dos resíduos da mineração de gipsita no Semiárido Pernambucano. **HOLOS**, v. 6, p. 194-200, 2017.

SINDUSGESSO – **Sindicato das Indústrias do Gesso**. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br/>. Acesso em: 22 de Dezembro de 2020.

SOARES, K. L. *et al.* Modelagem hipsométrica de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. no sudeste do estado de Goiás. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 5, p. 51–58, 2017. doi: 10.32404/rean.v4i5.2184

SCHIMITT, T. **Relação hipsométrica de eucalipto clonal no sul do Tocantins**. 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi, Gurupi, 2017.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SMITH, W. D.; STRUB, M. R. Initial spacing: how many trees to plant. In: DURYEA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.) **Forest regeneration manual**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 281-289.

SOARES K. L. *et al.* Modelagem hipsométrica de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. no sudeste do estado de Goiás. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento 1, p. 51-57, dez. 2017

SOUSA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia brasileira. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2 n. 1 p. 44-53, 2017.

SOUZA, H. S. *et al.* Comparação de métodos de cubagem para eucalipto. *Revista Brasileira de Biomassa, Lavras*, v. 35, n. 1, p. 17-26, 2017.

TONINI, H. Emprego de diferentes metodologias para o cálculo do volume comercial de *Eucalyptus saligna* Smith. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFMS, 2004, p. 28-34.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; SOUSA, W. V.; DRESCHER, R.; EVANGELISTA, W. V. Incremento em área basal e relação hipsométrica de *Tectona grandis* L. f. para a região norte do Estado de Mato Grosso. In: WOJCIECHOWSKI, J. C. et al. **Silvicultura e Manejo Florestal Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza**. 4. ed. São Paulo: Cientifica Digital, 2021. v. 2, cap. 10, p. 172-191.