

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Eduardo Luz de Souza

**Crescimento, estabilidade e qualidade do fuste de três espécies de pinus  
subtropicais cultivadas no planalto serrano catarinense**

Curitibanos, SC

2024

Eduardo Luz de Souza

Crescimento, estabilidade e qualidade do fuste de três espécies de pinus subtropicais  
cultivados no planalto serrano catarinense

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Florestal do Centro de Ciências  
Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius Costa Cysneiros  
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Bonazza

Curitiba, SC

2024

de Souza, Eduardo Luz

CRESCIMENTO, ESTABILIDADE E QUALIDADE DO FUSTE DE TRÊS  
ESPÉCIES DE PINUS SUBTROPICAIS CULTIVADOS NO PLANALTO  
SERRANO CATARINENSE / Eduardo Luz de Souza ; orientador,  
Vinicius Costa Cysneiros, coorientador, Marcelo Bonazza,  
2024.

47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Crescimento e produção  
florestal. 3. Espécies madeireiras alternativas. I.  
Cysneiros, Vinicius Costa. II. Bonazza, Marcelo. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. IV. Título.

Eduardo Luz de Souza

**Crescimento, estabilidade e qualidade do fuste de três espécies de pinus  
subtropicais cultivados no planalto serrano catarinense**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de  
“Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de  
Engenharia Florestal

Curitiba, 22 de Novembro de 2024.

---

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Vinicius Costa Cysneiros, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Mário Dobner Júnior, Dr.  
Avaliador  
Florestal Gateados

---

Laio Zimmermann Oliveira, MSc.  
Avaliador  
FlorestaSC – Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado força, coragem e perseverança ao longo desses anos de curso. Sem sua presença e bênçãos, eu jamais teria chegado até aqui, e hoje, ao concluir este trabalho, sinto imensa gratidão pela oportunidade de realizar o sonho de cursar Engenharia Florestal.

Aos meus familiares, dedico um agradecimento especial. À minha mãe, cuja torcida e apoio incondicional foram fundamentais em todos os momentos, e que, com seu amor e incentivo, sempre me fez seguir em frente. Ao meu tio Darci, que sempre esteve ao meu lado torcendo por mim, e ao meu irmão, por ser meu parceiro e trazer leveza nos momentos de tensão, e ao meu eterno avô Lídio, que foi como um verdadeiro pai. Ele me ensinou muito na infância e, mesmo após sua partida, continuou a torcer e olhar por mim. Hoje, comemora comigo lá do céu.

À minha namorada, companheira e amiga Roselene, minha eterna gratidão por seu apoio constante, por estar ao meu lado em todos os momentos, e por sua paciência e compreensão nas horas mais difíceis que passei na graduação.

Agradeço ao meu orientador, professor e amigo Vinicius, por todo o apoio e orientação desde o primeiro momento em que o conheci. Suas lições enriqueceram não apenas minha formação profissional, mas também meu crescimento pessoal, e seus ensinamentos ficarão para sempre comigo. Sou grato pelas risadas no campo, pelas brincadeiras ao longo da graduação e pelos valiosos ensinamentos que levarei para a vida.

Também sou grato aos meus avós adotivos, Nereu e Tereza, que me acolheram como parte da família, me proporcionando carinho, conforto e alegrias em nossos dias juntos.

Aos amigos que torceram e contribuíram em cada etapa dessa jornada, meu sincero obrigado. Em especial, agradeço ao Núcleo de Estudos em Dendrometria, Inventário e Manejo (NEDIM), onde encontrei amizade, cooperação nos trabalhos de campo e valiosas trocas de ideias.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada universitária, incluindo professores, amigos e colegas. Cada contribuição foi essencial para que eu alcançasse este momento.



## RESUMO

Os plantios florestais exercem um papel importante para o Brasil, pois geram milhares de empregos, promovem a melhora da economia e colaboram para a preservação de florestas naturais. Na região Sul, ocorre uma predominância do gênero *Pinus*, sendo o *Pinus taeda* a espécie mais utilizada para fins comerciais. Diante disso, faz-se necessário gerar informações sobre espécies alternativas que possam ser utilizadas para diversificar os povoamentos florestais, gerar mais estabilidade dos povoamentos por meio de técnicas adequadas de manejo e maior possibilidade de novos produtos. Com isso, foram avaliadas três espécies deste gênero, sendo *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda* plantadas em plantios monoespecíficos no município de Curitiba-SC, na Área Experimental Florestal pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina. Foram coletados dados dendrométricos aos 4, 5, 6, 7 e 11 anos de idade, estes foram usados para avaliar e comparar o crescimento, a Razão h/d e a qualidade de fuste das espécies. *P. patula* apresentou maior crescimento em dap e h, ao contrário de *P. greggii* que apresentou menor crescimento. As espécies apresentaram comportamentos distintos da Razão h/d, com *P. taeda* sendo mais estável que *P. greggii* e *P. patula*, que foram semelhantes entre si. As árvores com dap > 25 cm não apresentaram árvores instáveis com h/d > 80. *P. greggii* apresentou a pior qualidade de fuste dentre as espécies. *P. patula* e *P. taeda* apresentaram qualidades semelhantes, porém, a primeira apresentou maior mortalidade.

**Palavras-chave:** Espécies alternativas. *P. greggii*. *P. patula*. Razão h/d. Qualidade da árvore. Modelagem de crescimento.

## ABSTRACT

Forest plantations play a significant role in Brazil, as they generate thousands of jobs, boost the economy, and contribute to the preservation of natural forests. In the southern region, the genus *Pinus* predominates, with *Pinus taeda* being the most used species for commercial purposes. Therefore, it is necessary to generate information on alternative species that can be used to diversify forest stands, increase stand stability, and provide greater opportunities for new products. In this context, three species of this genus were evaluated: *P. greggii*, *P. patula*, and *P. taeda*, planted in monospecific plantations in the municipality of Curitiba, Santa Catarina, within the Forest Experimental Area belonging to the Federal University of Santa Catarina. Dendrometric data were collected at ages 4, 5, 6, 7, and 11 years, which were used to evaluate and compare growth, the h/d ratio, and stem quality among three species. *P. patula* showed the highest growth in DBH and total height, in contrast to *P. greggii*, which had the lowest growth rates. The species exhibited different behaviors in terms of the h/d ratio, with *P. taeda* being more stable than *P. greggii* and *P. patula*, which were like each other. Trees with a DBH greater than 25 cm did not show unstable trees with an h/d ratio  $> 80$ . *P. greggii* had the poorest stem quality among three species. *P. patula* and *P. taeda* exhibited similar quality to each other; however, the former had higher mortality rates.

**Keywords:** Unconventional species. *P. greggii*. *P. patula*. h/d ratio. Tree quality. Growth modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização dos povoamentos de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . ....	20
Figura 2 – Registro fotográfico dos povoamentos usados neste estudo. Onde: <i>P. greggii</i> (A), <i>P. patula</i> (B) e <i>P. taeda</i> (C). .....	21
Figura 3 – Análise exploratória do crescimento em diâmetro e altura de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . .....	26
Figura 4 – Análise comparativa do crescimento médio em dap e h para as diferentes idades dos povoamentos de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . .....	29
Figura 5 – Variações da Razão h/d para as espécies de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . ....	30
Figura 6 – Análise exploratória da variação da Razão h/d nas diferentes idades dos povoamentos de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . A linha vermelha expressa o valor crítico de estabilidade das árvores. ....	31
Figura 7 – Relações entre a Razão h/d e o dap das árvores de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . A linha vermelha expressa o valor crítico de estabilidade das árvores.....	32
Figura 8 – Análise da qualidade do fuste para <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . Os valores representam as porcentagens calculadas para cada espécie individualmente.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Forma matemática dos modelos ajustados para estimativa das variáveis dependentes de <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> .....	22
Tabela 2– Variáveis dendrométricas e estruturais avaliadas nas diferentes idades dos povoamentos.....	25
Tabela 3 – Estatísticas de ajuste dos modelos testados para estimativa do dap e a h para <i>P. greggii</i> , <i>P. patula</i> e <i>P. taeda</i> . Os melhores modelos estão destacados em negrito.....	27

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Gênero <i>Pinus</i> .....	16
2.2 Modelagem de crescimento .....	17
2.3 Avaliações dendrométricas .....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 Área de estudo .....	20
3.2 Coleta dos dados.....	21
3.3 Modelagem do Crescimento.....	22
3.4 Estabilidade das árvores .....	23
3.5 Qualidade do fuste.....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
4.1 Crescimento .....	24
4.2 Estabilidade .....	29
4.3 Qualidade do fuste.....	32
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A – CROQUI DOS POVOAMENTOS ANALISADOS. ....</b>	<b>42</b>
<b>APÊNDICE B - AVALIAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS DOS MODELOS DE CRESCIMENTO.....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Pinus* são amplamente cultivadas em várias regiões do planeta. Segundo Higa *et al.* (2008), devido às características edafoclimáticas favoráveis, a região Sul do Brasil apresenta boas condições para o desenvolvimento de espécies do gênero. Cerca de 87% dos plantios na região são desse gênero, sendo Santa Catarina o segundo estado com maior área plantada, totalizando 713 mil hectares (ACR, 2022). A expansão de plantações florestais pode ser vista como um avanço positivo, pois contribui para minimizar a exploração madeireira em florestas nativas no território nacional (Ferreira, 2005).

As espécies *P. elliottii* e *P. taeda* são as mais plantadas no Brasil (EMBRAPA, 2020; IPEF, 2006). Entretanto, o avanço do setor industrial madeireiro demanda uma diversificação da produção florestal para fornecimento de matéria-prima de maior qualidade (Munhoz *et al.*, 2021). O uso de diversas espécies, além de atender melhor o mercado, possibilita investigar a tolerância das espécies plantadas frente a eventos climáticos extremos (Ataíde *et al.*, 2015) e ao ataque de pragas e doenças (Seliger *et al.*, 2023).

Diante da crescente demanda do setor madeireiro por produtos mais diversos, é necessário aumentar as áreas de plantios florestais e diversificar as entre espécies de *Pinus* (Oliveira *et al.*, 2011). Além das duas espécies mais plantadas mencionadas acima, outras espécies desse gênero também apresentam grande potencial de desenvolvimento no sul e sudeste do Brasil (Shimizu; Massaki, 1992). A introdução de novas espécies pode gerar produtos diferenciados e de qualidade semelhante as espécies convencionais, garantindo assim uma maior competitividade no mercado (Trianoski, 2012).

Com os desafios impostos pelas mudanças climáticas, é fundamental realizar estudos que subsidiem a introdução de espécies alternativas de *Pinus*, particularmente daquelas que apresentam boa capacidade de desenvolvimento em diferentes ambientes (Oliveira *et al.*, 2011). Tais estudos são podem auxiliar a identificação de sítios potenciais, assim como de fatores (a)bióticos que influenciam o desenvolvimento e sobrevivência das espécies (Shimizu, 2008).

Diante deste contexto, este estudo tem como objetivo gerar informações sobre o desenvolvimento de diferentes espécies de *Pinus*, com foco no crescimento, estabilidade das árvores e qualidade do fuste, fornecendo informação para a expansão de cultivos florestais com espécies alternativas no Planalto Serrano Catarinense.



## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o crescimento, estabilidade e qualidade do fuste de *Pinus greggii*, *P. patula* e *P. taeda* cultivados em plantios monoespecíficos no município de Curitibanos, SC.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar, modelar e comparar o crescimento em diâmetro e altura das três espécies;
- Analisar e comparar a estabilidade das árvores por meio da Razão h/d entre as espécies e idades avaliadas;
- Analisar e comparar a qualidade do fuste das três espécies.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gênero *Pinus*

Atualmente, mais de 100 espécies diferentes de pinus estão catalogadas, cuja ocorrência natural é predominantemente no Hemisfério Norte, e cultivada em todas as regiões do mundo (Silva *et al.*, 2020), incluindo a África, Ásia, Europa, América do Norte e América Central, sendo que apenas *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese ocorre naturalmente no Hemisfério Sul (Valeri; Paula, 2009). Portanto, é fundamental compreender as características de adaptação de cada espécie deste gênero, bem como seu estabelecimento e desenvolvimento no Brasil (Oliveira *et al.*, 2011).

O gênero *Pinus* ocorria apenas em coleções botânicas nos trópicos até meados do século XIX. Somente a partir da segunda metade do século XIX foi introduzido em países como Nova Zelândia e Austrália (Leão, 2000). No entanto, os plantios comerciais começaram a se expandir a partir da década de 1950, com o desenvolvimento do mercado de exportação em países como Nova Zelândia, Canadá e África do Sul (Leão, 2000). No Brasil, o gênero foi introduzido na década de 1960, impulsionado por incentivos fiscais que permitiram que as empresas utilizassem até 50% dos impostos devidos em investimentos florestais (Soares; Souza; Silva, 2008). Atualmente, o gênero *Pinus* é o segundo mais plantado no Brasil, com uma área de 1,9 milhão de hectares em 2022, representando cerca de 19% da área total de florestas plantadas no país, ficando atrás apenas do gênero *Eucalyptus*, que ocupa 76% das áreas plantadas no país (IBA, 2023).

Na região Sul, o pinus é utilizado para a produção de biomassa florestal, celulose e papel, madeira serrada, painéis de madeira e produtos de maior valor agregado, gerando mais de 100 mil empregos diretos e indiretos no setor florestal e contribuindo para o aumento da renda e crescimento do PIB de vários municípios (ACR, 2022). De maneira geral, o pinus apresenta bom crescimento. Entretanto, algumas espécies têm crescimento limitado devido a fatores como geadas, características do solo, climas extremos e declividade, entre outros (Wrege, 2014; Horst, 2018). O crescimento também é afetado por aspectos de manejo, como a escolha da espécie, espaçamento, tratamentos silviculturais, poda e desbaste (Scolforo; Maestri, 1998). Diante da diversidade de espécies potenciais com características distintas, é essencial ampliar o conhecimento sobre a adaptação, crescimento e manejo das mesmas, principalmente de espécies alternativas, que além de

serem menos estudadas, podendo ser mais resistentes a pragas e doenças (Seliger *et al.*, 2023).

Os plantios florestais do gênero *Pinus* apresentam vantagens, como o sequestro de carbono atmosférico e a restauração de áreas com solos degradados, gerando benefícios para o clima e promovendo a oferta de produtos madeireiros. Vale destacar que o setor de florestas plantadas se destaca na formação de mosaicos de florestas plantadas e nativas, criando corredores ecológicos que promovem a conectividade da paisagem e abrigam diversas espécies da fauna e flora (IBA, 2023). No entanto, por ser um gênero exótico de grande versatilidade, rusticidade e adaptabilidade, com crescimento rápido (Georgin, 2014), o pinus é considerado uma espécie invasora de ambientes naturais abertos o que exige monitoramento e o controle de indivíduos regenerantes (Zenni; Ziller, 2011).

## 2.2 Modelagem de crescimento

Os primeiros métodos de modelagem florestal surgiram em 1501, com a criação de tabelas de produção, motivados pela necessidade de ferramentas capazes de prever o crescimento futuro para o planejamento do manejo sustentável das florestas (Spathelf; Nutto, 2000). A partir daí, esses métodos evoluíram para atender à crescente demanda por técnicas de controle e estimativa da produtividade futura. A modelagem do crescimento florestal visa representar a dinâmica de um povoamento florestal e permite prever o desenvolvimento de espécies de interesse, orientando o planejamento florestal (Maestri *et al.*, 2013). Contudo, esses modelos possuem incertezas, uma vez que são construídos com base em dados biológicos, sendo aproximações da realidade (Spathelf; Nutto, 2000).

Os modelos de crescimento e produção florestal estão classificados em dois grupos: 1) modelos empíricos, que não consideram hipóteses de causalidade; e 2) modelos mecanicistas, que associam hipóteses a fenômenos biológicos específicos e conhecidos (Spathelf; Nutto, 2000). Na área florestal, as três principais classes de modelos de crescimento e produção são: em nível de povoamento, de árvore individual e de classes diamétricas (Costa, 2011). Em termos básicos, os modelos de crescimento estão relacionados ao acréscimo nas dimensões (dap, h, volume, área basal) podendo ser em nível de árvore individual ou povoamento, enquanto os modelos de produção se relacionam com o tamanho final após um determinado período (Spathelf; Nutto, 2000).

Os modelos tradicionais projetam o crescimento futuro com base em condições presentes e passadas; contudo, quando ocorrem mudanças nas condições do sítio, são necessários ajustes, pois as projeções podem se tornar menos acuradas (Spathelf; Nutto, 2000). Para serem confiáveis, esses modelos devem fornecer resultados acurados, permitir a avaliação de alternativas de manejo, facilitar previsões ao longo do tempo e conter variáveis preditoras compatíveis com os dados do inventário florestal (Spathelf; Nutto, 2000).

Para estimar o crescimento de uma espécie, são utilizados modelos que partem das condições atuais e fazem projeções futuras (Chassot *et al.*, 2011). Os modelos biológicos, os mais utilizados para descrever o crescimento de variáveis dendrométricas de árvores e povoamentos, permitem projetar a variável de interesse até idades avançadas (Machado *et al.*, 2015). Esses modelos são indispensáveis na Engenharia Florestal, sendo fundamentais para estimar estoques futuros, apoiar escolhas de métodos silviculturais e auxiliar na tomada de decisões no manejo florestal. Com a expansão das áreas de florestas plantadas, os modelos de crescimento são essenciais para que o manejo mantenha a sustentabilidade do volume, o valor de corte, o incremento e a rentabilidade das florestas (Spathelf; Nutto, 2000).

### 2.3 Avaliações dendrométricas

Realizar o acompanhamento das variáveis dendrométricas ao longo do tempo permite compreender o padrão de crescimento das florestas sendo essencial para gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos (Hess, 2006). Além disso, o conhecimento do ritmo de crescimento dessas variáveis é fundamental para que o gestor florestal tome decisões assertivas em relação ao manejo, quantificação de volume na floresta e valor desta (Machado *et al.*, 2015). As variáveis dendrométricas constituem a base para definir as estratégias de manejo florestal, seja na silvicultura, no âmbito econômico ou ambiental (Ribeiro, 2013). Diante das dificuldades que muitas vezes cerceiam a coleta de dados em campo, variáveis de fácil obtenção como o diâmetro à altura do peito (dap) e são eficazes para pesquisas em crescimento florestal (Imaña-Encinas *et al.*, 2005). Outras variáveis igualmente importantes, como altura total, área basal e volume, são amplamente utilizadas para avaliar o crescimento e o estoque volumétrico dos povoamentos (Machado *et al.*, 2002). Já o diâmetro da copa e a altura do fuste, são parâmetros que permitem aprimorar estimativas de biomassa e carbono florestal (Teixeira, 2003).

Dada a importância das variáveis dendrométricas, a coleta de dados deve ser meticulosa, com base em técnicas de amostragem que minimizem custos e erros (Cesaro *et al.*, 1994). Em áreas extensas e de difícil acesso, a coleta de dados pode se tornar cara e desafiadora (Alves *et al.*, 2011), tornando indispensável o uso de novas tecnologias que otimizem o processo de coleta. Nesse contexto, o sensoriamento remoto com LIDAR (*Light Detection and Ranging*) vem ganhando destaque, pois facilita uma coleta mais abrangente e com elevada acurácia (Yamamoto *et al.*, 2019).

Além das variáveis dendrométricas tradicionais, outras informações são úteis para avaliar a qualidade das árvores (Imaña-Encinas *et al.*, 2009). Em geral, a presença de defeitos, danos ou anomalias é importante, pois influenciam diretamente o valor econômico e o uso da madeira (Moreau *et al.*, 2023). Assim, torna-se necessário analisar características como tortuosidades, bifurcações, quebras e outros defeitos que possam comprometer ou reduzir o valor das árvores.

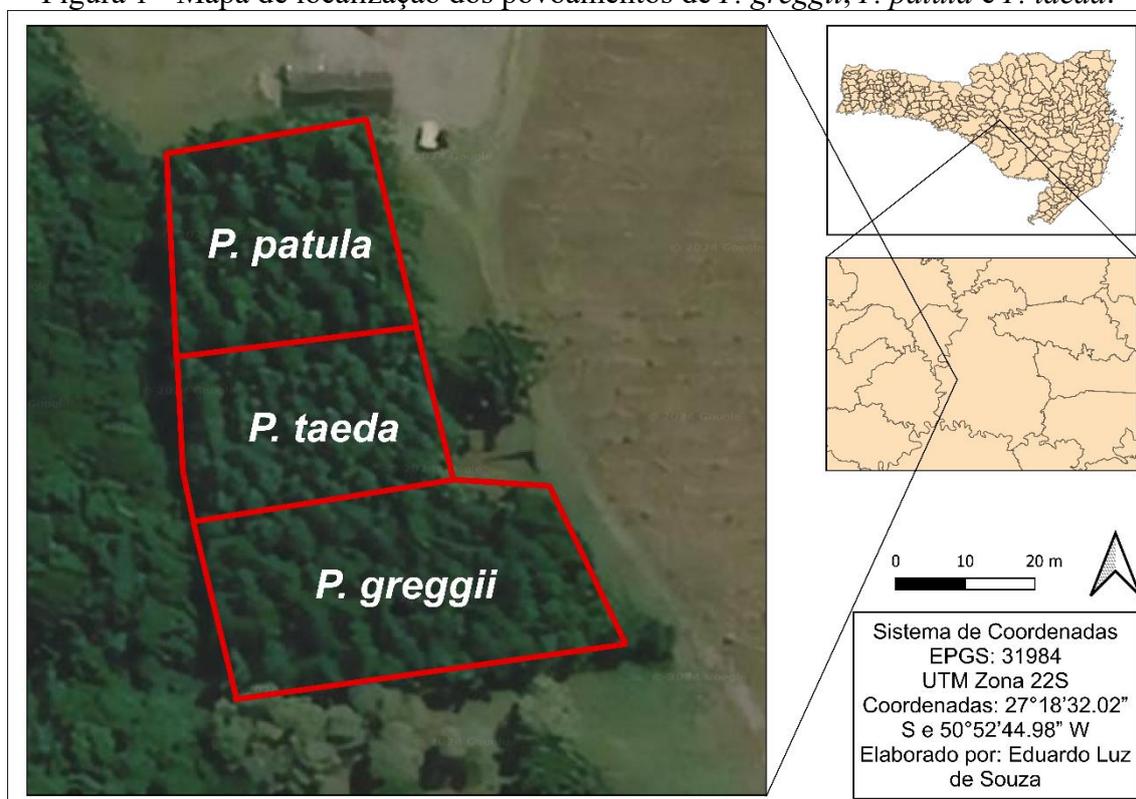
Por fim, as avaliações dendrométricas constituem a base para o manejo florestal, fornecendo informações detalhadas para a tomada de decisões sobre as intervenções em nível de árvore e povoamento. No entanto, a coleta de dados, por si só, não gera informações completas, sendo necessário transformar os dados em informações que possam fundamentar decisões estratégicas sobre as florestas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área do presente estudo está localizada na Área Experimental Florestal (AEF), no município de Curitibanos, SC ( $27^{\circ}18'32.02''$  S e  $50^{\circ}52'44.98''$  W) (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen o clima da região é denominado como Cfb – Clima temperado, com verão ameno e ocorrência de geadas, com precipitação anual variando entre 1600 a 1900 mm (Alvares *et al.*, 2013), temperaturas anuais médias de  $16,5^{\circ}\text{C}$ , com mínimas absolutas de  $0,6^{\circ}\text{C}$  e máximas absolutas de  $30,9^{\circ}\text{C}$  (Wrege *et al.*, 2012). O solo da região é classificado como Neossolos Litólicos rasos e pedregosos nas áreas mais elevadas e Cambissolos nas mais baixas e drenáveis., textura muito argilosa, com relevo suave ondulado e ondulado, segundo a classificação de solos de Santa Catarina (EMBRAPA, 2004).

Figura 1 - Mapa de localização dos povoamentos de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*.



Fonte: O autor (2024).

Na área de estudo foram coletados dados de três povoamentos monoespecíficos de *P. greggii* com área total de 1123,4 m<sup>2</sup>, *P. patula* com 704,5 m<sup>2</sup>, e *P. taeda* com 639,1 m<sup>2</sup> (Figura 2). Os plantios destes povoamentos foram realizados no ano de 2012 com mudas provenientes da EMBRAPA FLORESTAS, todos com espaçamento 2,20 x 2,50 m, com cortes de algumas árvores realizados de forma aleatória nos três plantios e em diferentes idades, porém sem registro de intensidade de corte. O croqui de cada povoamento está apresentado no Apêndice A (Figuras A1, A2 e A3).

Figura 2 – Registro fotográfico dos povoamentos usados neste estudo. Onde: *P. greggii*, (A), *P. patula* (B) e *P. taeda* (C).



Fonte: O autor (2024).

### 3.2 Coleta dos dados

Para realização do presente estudo foram coletados dados em diferentes idades dos povoamentos, sendo realizado um censo de todos os indivíduos. A área foi delimitada com uma parcela dentro de cada povoamento, onde foram mensurados apenas as árvores do interior, excluindo a medição dos indivíduos de borda que podem estar sob condições diferentes das demais. As medições foram realizadas nos anos de 2016 (4 anos após plantio) e 2017 (5 anos após plantio) para os plantios de *P. patula* e *P. taeda* e nos anos de 2018 (6 anos após plantio), 2019 (7 anos após plantio) e 2023 (11 anos após plantio) para as três espécies presentes na área de estudo. Para a realização dos inventários foram mensurados os diâmetros medidos à altura do peito (dap, cm) de todos os indivíduos. Já as medições das alturas totais (h, m) foram realizadas em apenas algumas árvores de cada

povoamento, considerando apenas as árvores sadias e sem bifurcação ou tortuosidade. As h foram mensuradas com auxílio do hipsômetro Haglôf Vertex VL4 e o dap com uso de fita diamétrica.

### 3.3 Modelagem do Crescimento

Os modelos de crescimento foram selecionados com base na distribuição das variáveis dependentes (dap e h) em função da variável independente (idade do povoamento) (Hess *et al.*, 2009; Schneider *et al.*, 2014). Foram testados seis modelos para cada uma das espécies, individualmente para a variável dap e para a variável h. Os modelos estão descritos na Tabela 1. Os parâmetros de todos os modelos foram estimados por meio da técnica de Mínimos Quadrados Ordinários, por meio da regressão linear e não linear.

Tabela 1– Forma matemática dos modelos ajustados para estimativa das variáveis dependentes de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*.

Modelo	Tipo	Forma	Natureza
1	Linear	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$	Linear
2	Potência	$y = \beta_0 \cdot x^{\beta_1} + \varepsilon$	Não linear
3	Exponencial	$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \exp(\beta_2 \cdot x) + \varepsilon$	Não linear
4	Weibull	$y = \beta_0 \cdot (1 - \exp(-\beta_1 \cdot x^{\beta_2})) + \varepsilon$	Não linear
5	Polinomial	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$	Linear

Fonte: O autor (2024).

Legenda: y = variável dependente (dap, h); x = variável independente (Idade em anos);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes estimados para os modelos lineares e  $\varepsilon$  = erro aleatório do modelo.

A avaliação dos modelos foi realizada seguindo os pressupostos da regressão, analisando a normalidade e homoscedasticidade dos resíduos do melhor modelo selecionado para cada variável e espécie. Foi avaliada a significância dos coeficientes pelo teste T, com nível de significância de 0,05. Os modelos que não convergiram ou que não apresentaram coeficientes significativos foram desclassificados. Para avaliar a eficiência dos modelos foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ , Equação 1). A raiz quadrada do erro médio absoluta (RMSE, Equação 2) e relativa (RMSE%, Equação 3), foram usadas para avaliar a acurácia dos modelos testados (Kershaw *et al.*, 2016).

$$R^2 = \text{cor}(y, \hat{y})^2 \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}\% = \left( \frac{\text{RMSE}}{\bar{y}} \right) * 100 \quad (3)$$

Onde:

$y$  são os valores observados;

$\hat{y}$  são os valores preditos;

$n$  é o número de observações;

$p$  é o número de parâmetros estimados no modelo de regressão;

$\bar{y}$  é a média dos valores observados.

A seleção do melhor modelo seguiu os critérios: maior  $R^2$ , menores RMSE e RMSE% e ausência de tendências por meio da análise gráfica dos resíduos. Para todos os modelos selecionados foi testada a normalidade dos resíduos através do teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 0,05.

Além das variáveis mencionadas foi avaliada a evolução de outras variáveis relacionadas à estrutura dos povoamentos, como: densidade de indivíduos ( $N_d$ ,  $N/\text{ha}$ ), área basal ( $G$  ( $\text{m}^2$ ),  $G$  ( $\text{m}^2/\text{ha}$ )), altura média ( $H_{\text{med}}$  (m)), altura dominante ( $H_{\text{dom}}$  (m)), diâmetro médio ( $D_{\text{med}}$ ) e diâmetro dominante ( $D_{\text{dom}}$ ).

### 3.4 Estabilidade das árvores

Para a análise da estabilidade das árvores foi avaliada a Razão entre a  $h$  e o  $d_{ap}$  -  $h/d$  (Equação 4), também conhecida como coeficiente de esbelteza. Uma Razões  $h/d \geq 80$  foram consideradas críticas no que se refere à estabilidade das árvores (Wonn; Ohara, 2001). Árvores com Razão  $h/d \geq 80$  são mais suscetíveis a danos como a quebra ou flambagem.

$$\text{Razão } h/d = \left( \frac{h}{d_{ap}} \right) * 100 \quad (4)$$

Onde:

$h$  = altura total (m);

$dap$  = diâmetro a altura do peito (cm).

A Razão  $h/d$  foi comparada entre as espécies para avaliar se existem espécies mais ou menos resistentes à quebra ou à flambagem (Wang *et al.*, 2023). Os dados foram analisados por meio de gráficos boxplots para comparar as medianas e quartis da Razão  $h/d$  das espécies. Após constatar a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias por meio de boxplots, os valores  $h/d$  foram comparados estatisticamente por meio da Análise da Variância (ANOVA). Em seguida, o teste de Tukey foi aplicado para avaliar quais espécies diferem entre si quanto a Razão  $h/d$ . Todos os testes foram realizados com 5% de nível de significância, com auxílio do pacote *car*. A variação na Razão  $h/d$  em função do tamanho das árvores ( $dap$ ) e idade do povoamento também foi avaliada para cada uma das espécies por meio de gráficos de dispersão e boxplots, respectivamente.

### 3.5 Qualidade do fuste

Para a avaliação da qualidade do fuste foram usados dados coletados apenas no ano de 2023, onde todos os indivíduos mensurados foram avaliados visualmente durante o inventário florestal. As árvores foram classificadas como: bifurcada (B), morta (M), quebrada (Q), sadia, (S) e torta (T). Para a avaliação da qualidade, foi atribuída exclusivamente uma dessas classificações a cada árvore. Para cada espécie foi quantificado o número de árvores em cada classe, sendo gerado um gráfico de valores em porcentagem, considerando o total de árvores de cada espécie em relação ao número de árvores por classe.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento

Foram avaliadas as variáveis dendrométricas e estruturais consideradas como as mais importantes para avaliar o crescimento médio dos povoamentos (Schneider *et al.*, 2014), que servem para entender as características de crescimento e desenvolvimento de cada espécie. Essas características estão apresentadas de forma detalhada na Tabela 2.

Tabela 2– Variáveis dendrométricas e estruturais avaliadas nas diferentes idades dos povoamentos.

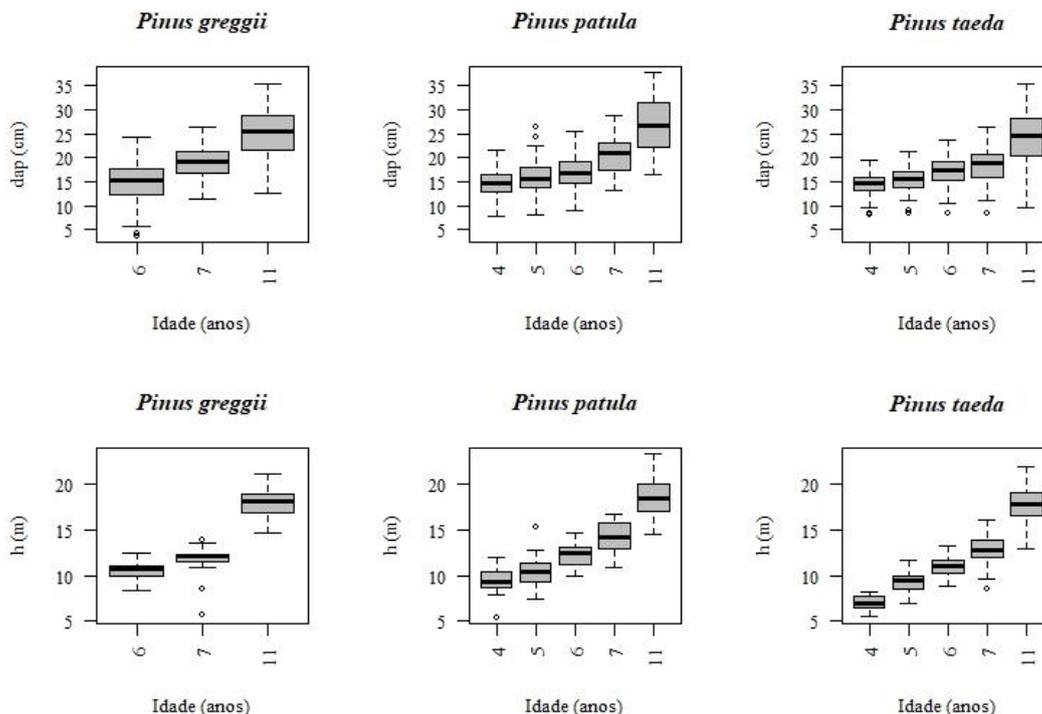
Espécie/Ano	<i>Pinus greggii</i>			<i>Pinus patula</i>				<i>Pinus taeda</i>					
	2018	2019	2023	2016	2017	2018	2019	2023	2016	2017	2018	2019	2023
Nd	203	98	96	112	105	82	51	51	108	108	108	107	64
N/ha	1807	872	855	1590	1490	1164	724	724	1690	1690	1690	1674	1001
G (m <sup>2</sup> )	3,72	2,88	4,94	1,95	2,16	1,94	1,81	2,96	1,82	2,09	2,60	2,97	3,11
G (m <sup>2</sup> /ha)	32,51	25,19	43,23	30,63	33,94	30,43	28,38	46,36	31,21	35,77	44,52	50,88	53,38
h (m)	10,50	11,42	17,85	9,38	10,42	12,29	14,26	18,37	7,02	9,27	11,16	12,70	17,68
h <sub>100</sub> (m)	10,82	11,42	18,66	9,76	12,31	13,20	15,50	20,59	7,29	9,80	11,61	14,01	18,21
d (cm)	14,75	19,09	25,14	14,64	15,85	17,01	20,88	26,60	14,48	15,49	17,24	18,44	24,38
d <sub>100</sub> (cm)	21,26	23,98	32,37	20,13	22,61	23,77	27,16	34,77	18,40	20,15	22,84	25,07	32,80

Fonte: O autor (2024).

Legenda: Nd = número de diâmetros medidos; N = número de indivíduos por hectare; G = área basal no povoamento/ área basal por hectare; Nh = número de alturas medidas; h = altura média; h<sub>100</sub> = altura dominante; d = diâmetro médio; d<sub>100</sub> = diâmetro dominante; \* = apresentou uma altura a menos que o necessário.

A análise gráfica dos dados de crescimento em dap e h (Figura 3) tem como objetivo mostrar como é o comportamento temporal dos dados avaliados, dando suporte para posterior escolha dos modelos a serem testados. É possível observar que todas as espécies apresentam crescimento contínuo das variáveis dap e h ao longo das idades avaliadas. Na Figura 3, os gráficos superiores mostram o comportamento temporal do dap para as espécies. É possível observar que para todas as medições os dados são simétricos. Para a h (gráficos inferiores), os dados também foram simétricos, porém a mediana apresentou variações principalmente nas idades iniciais dos povoamentos. O crescimento contínuo observado para variáveis dendrométricas, permite ajustar modelos preditivos para antecipar o desenvolvimento da floresta (Schneider *et al.*, 2014). Quando apresentam boa capacidade preditiva e acurácia esses modelos podem gerar informações robustas para tomada de decisão quanto ao crescimento e produção florestal, manejo florestal, aplicação de desbastes, corte raso, compra e venda da madeira (Nascimento *et al.*, 2015; Scolforo, 1998).

Figura 3 – Análise exploratória do crescimento em diâmetro e altura de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*.



Fonte: O autor (2024).

Na Tabela 3, estão apresentados os coeficientes e estatísticas de ajuste para todos os modelos ajustados para o dap e h para as três espécies. Para a variável dap, o melhor modelo selecionado foi o Polinomial (Modelo 5) para *P. greggii*, com valores de  $R^2$  e RMSE% de 0,5271 e 21,8695, respectivamente. Já para as demais espécies, o melhor modelo foi o de Potência (Modelo 2), com valores de  $R^2$  e RMSE% de 0,5054 e 20,9055 para o *P. patula* e de 0,4698 e 18,4508 para *P. taeda*. Para a estimativa da h de *P. greggii*, o modelo selecionado foi o de Potência (Modelo 2) com  $R^2$  de 0,8559 e RMSE% de 9,6640. Para *P. patula* o melhor modelo foi o de Weibull (Modelo 4) e para o *P. taeda* o modelo exponencial (Modelo 3), os valores de  $R^2$  foram de 0,8335 e 0,8755 respectivamente e RMSE% de 11,8886 e 11,8787 respectivamente. Esses modelos apresentaram melhor desempenho na estimativa da variável h, com maior eficiência e acurácia. Os gráficos de normalidade e homoscedasticidade dos resíduos dos modelos selecionados são apresentados no Apêndice B (Figuras A4 e A5), demonstrando o atendimento dos pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância.

Tabela 3 – Estatísticas de ajuste dos modelos testados para estimativa do dap e a h para *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*. Os melhores modelos estão destacados em negrito.

Variável	Espécie	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R2	RMSE	RMSE%
dap	<i>P. greggii</i>	1	3,2938	2,0169		0,4994	4,1248	22,5008
		2	6,4106	1,2287		0,4965	4,1366	22,5656
		3	26,1842	201,4272	0,4781	0,5271	4,0090	21,8695
		4	25,2193	0,0035	3,0901	0,5271	4,0090	21,8695
		<b>5</b>	<b>-35,1561</b>	<b>11,7201</b>	<b>-0,5672</b>	<b>0,5271</b>	<b>4,0090</b>	<b>21,8695</b>
	<i>P. patula</i>	1	7,2779	1,7610		0,5052	3,6843	20,9109
		<b>2</b>	<b>9,2053</b>	<b>1,1955</b>		<b>0,5054</b>	<b>3,6833</b>	<b>20,9055</b>
		3	513,6000	506,5000	0,0036	0,5051	3,6846	20,9127
		4	559,6000	0,0105	0,6349	0,5013	3,6986	20,9924
		5	7,9883	1,5428	0,0146	0,5053	3,6837	20,9074
	<i>P. taeda</i>	1	8,5739	1,4278		0,4695	3,2185	18,4568
		<b>2</b>	<b>9,6253</b>	<b>1,1219</b>		<b>0,4698</b>	<b>3,2174</b>	<b>18,4508</b>
		3	455,9000	447,5000	0,0033	0,4694	3,2188	18,4587
		4	487,8000	0,0136	0,5457	0,4642	3,2347	18,5496
		5	9,4310	1,1711	0,0171	0,4698	3,2174	18,4506
h	<i>P. greggii</i>	1	1,2191	1,5207		0,8555	1,4540	9,6767
		<b>2</b>	<b>2,6920</b>	<b>1,1365</b>		<b>0,8559</b>	<b>1,4521</b>	<b>9,6640</b>
		3	312,0000	311,0000	0,0051	0,8554	1,4546	9,6808
		4	324,7000	0,0061	0,9327	0,8552	1,4557	9,6878
		5	11,0273	-0,9502	0,1437	0,8577	1,4430	9,6032
	<i>P. patula</i>	1	4,1476	1,3064		0,8297	1,5634	12,0259
		2	4,9226	1,0882		0,8286	1,5685	12,0650
		3	29,9559	29,5228	0,0854	0,8336	1,5454	11,8873
		<b>4</b>	<b>28,6936</b>	<b>0,0931</b>	<b>1,0005</b>	<b>0,8335</b>	<b>1,5455</b>	<b>11,8886</b>
		5	0,7656	2,3002	-0,0634	0,8339	1,5439	11,8761
	<i>P. taeda</i>	1	2,0680	1,4367		0,8662	1,4350	12,3133
		2	3,2044	1,1197		0,8638	1,4481	12,4257
		<b>3</b>	<b>24,8939</b>	<b>29,8281</b>	<b>0,1289</b>	<b>0,8755</b>	<b>1,3843</b>	<b>11,8787</b>
		4	21,1864	0,0550	1,4539	0,8752	1,3857	11,8901
		5	-3,2210	2,9799	-0,0982	0,8753	1,3851	11,8850

Fonte: O autor (2024).

Em geral, os modelos de crescimento da h foram mais acurados que os modelos ajustados para o dap, com a maior acurácia relacionada a menor variação da h em relação ao dap. Esse resultado está de acordo com o estudo de Schneider *et al.* (2014), que também encontrou modelos mais acurados para h de *P. taeda* e *P. elliottii*. Pezzutti *et al.* (2016) testaram modelos de regressão para estimar o dap de *P. taeda*, obtendo baixos valores de erro padrão da estimativa (Syx) e inferiores aos encontrados no presente

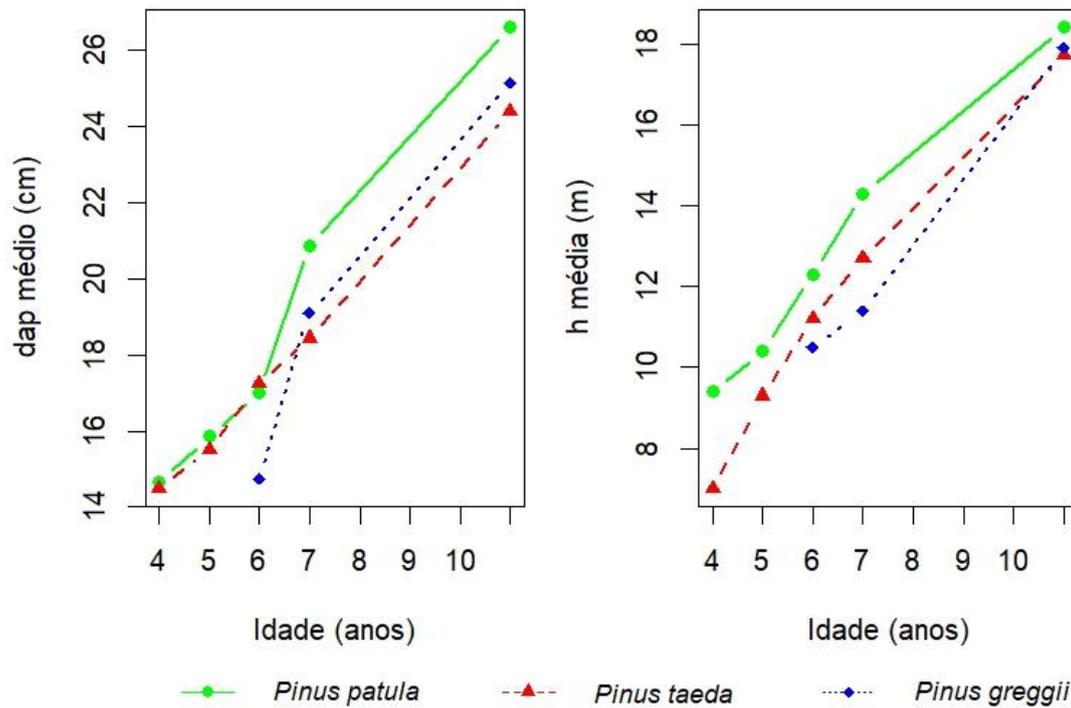
estudo. Assim como no presente estudo, os autores também selecionaram o modelo Polinomial dentre os mais adequados para modelar o crescimento em dap.

As variáveis avaliadas no presente estudo (dap e h) são fundamentais para analisar o crescimento e a produtividade florestal, além de auxiliarem na tomada de decisões quanto ao manejo e condução silvicultural dos povoamentos (Scolforo, 1998). Vale destacar que o crescimento dessas variáveis pode variar conforme o local, o sítio, os tratos silviculturais e o manejo aplicado (Higa *et al.*, 2008; Téó, 2022). Além disso, cada espécie apresenta suas características dendrométricas próprias (Nicoletti *et al.*, 2020; Mayrinck *et al.*, 2019), refletindo nos diferentes modelos selecionados para cada caso. Nicoletti *et al.* (2020) também selecionaram diferentes modelos entre espécies de pinus para os ajustes de equações alométricas, mesmo com todas as espécies implantadas e conduzidas sob mesmo sítio e regime de manejo, denotando a influência de características específicas da espécie.

A Figura 4 mostra o crescimento médio em dap e h média nas diferentes idades avaliadas. Aos quatro e cinco anos de idade, as espécies avaliadas apresentaram um dap médio semelhante. Aos seis anos, *P. greggii* apresentou um dap médio menor que as demais espécies. Na avaliação do ano seguinte, aos sete anos, o *P. taeda* apresentou o menor dap médio, enquanto *P. patula* teve o maior dap. Na última avaliação, aos 11 anos, *P. patula* apresentou o maior dap médio, seguido de *P. greggii* e, por último, *P. taeda*. Em relação ao crescimento em h, o *P. patula* apresentou h média superior em todos os anos avaliados. A espécie *P. greggii* mostrou menor h média aos seis e sete anos, porém, aos 11 anos, sua h foi maior que do *P. taeda*. É importante destacar que, aos 11 anos de idade, na última avaliação, a h média foi semelhante entre as espécies.

No presente estudo, a espécie *P. patula* se destacou no crescimento das duas variáveis dendrométricas avaliadas. Dvorak *et al.* (2000) destaca o potencial de crescimento e forma de fuste dessa espécie, ressaltando sua similaridade com a espécie convencional *P. taeda*. Além disso a espécie apresenta um bom crescimento em áreas de altitudes elevadas como o Planalto Serrano Catarinense (Aguiar *et al.* 2011), se destacando como uma espécie madeireira alternativa potencial para a região (Bonazza *et al.*, 2019) além de ser uma espécie que não apresenta preferencia de ataque por Macaco-Prego (Mikich; Liebsch, 2017).

Figura 4 – Análise comparativa do crescimento médio em dap e h para as diferentes idades dos povoamentos de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*.

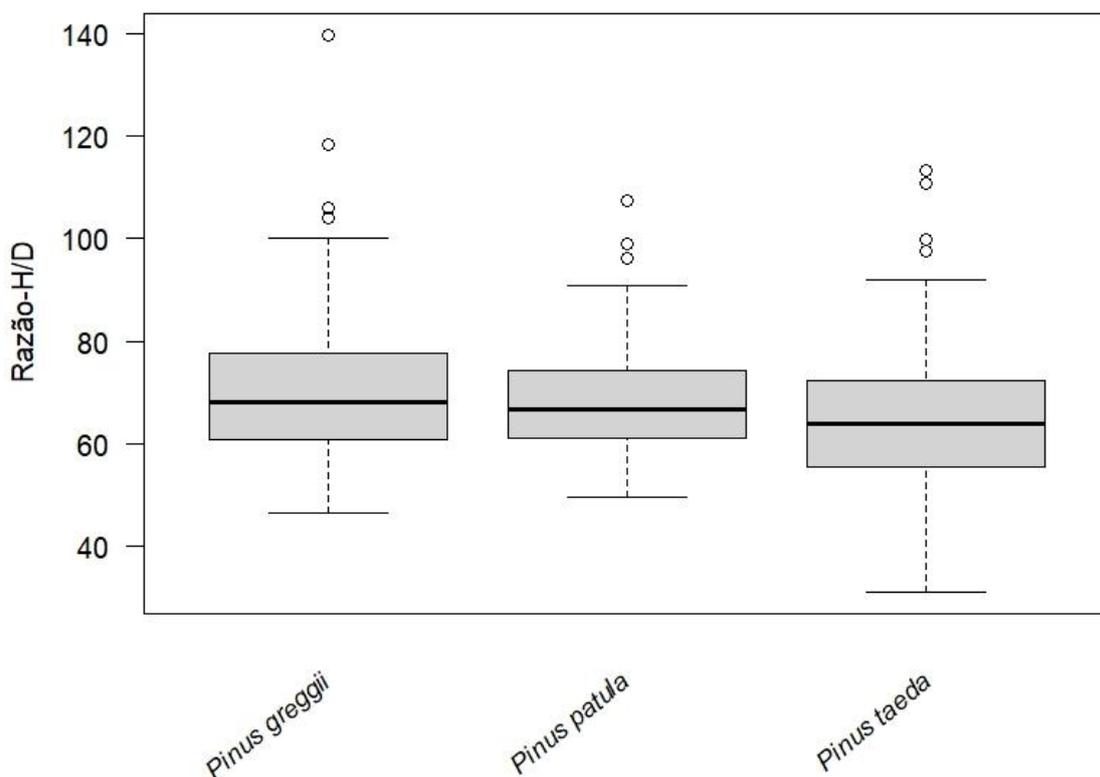


Fonte: O autor (2024).

## 4.2 Estabilidade

As espécies apresentaram comportamento distinto em relação à Razão h/d (Figura 5). *P. taeda* apresentou valores de h/d significativamente menores ( $p \leq 0,05$ ) que *P. greggii* e *P. patula*, que, por sua vez, não apresentaram diferenças estatísticas entre si ( $p \geq 0,05$ ). A espécie *P. greggii* apresentou valores superiores em relação as demais espécies avaliadas e grande variedade. *P. taeda* apresentou a maioria dos valores h/d inferiores as demais espécies e também grande amplitude de variação. Por sua vez, a espécie *P. patula* apresentou menor amplitude em relação as demais. Considerando o limite crítico de estabilidade das árvores como  $h/d > 80$  (Wonn; Ohara, 2001), *P. greggii* foi a espécie com o maior número de árvores vulneráveis a flambagem e quebra, ao contrário de *P. patula* que apresentou árvores mais resistentes. A maior variação dos valores h/d observados para *P. greggii* e *P. taeda* pode sugerir que a estabilidade das árvores seja mais sensível a fatores como a competição por luz e espaço vital (Wang *et al.*, 2023; Pretzsch, 2009).

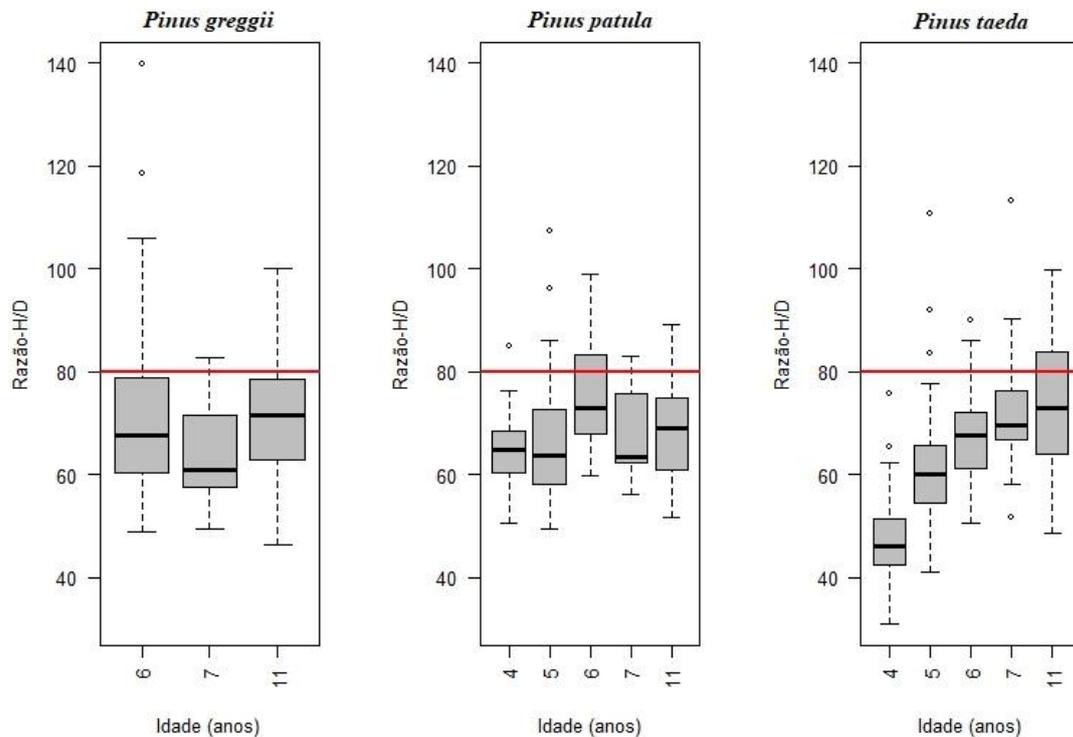
Figura 5 – Variações da Razão h/d para as espécies de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*.



Fonte: O autor (2024).

A Razão h/d das árvores para as espécies também variou conforme o avanço da idade do povoamento (Figura 6). A maioria dos indivíduos de *P. greggii* apresentou Razão h/d < 80, mas alguns indivíduos exibiram valores mais altos aos 6 e 11 anos, estando além do limite crítico de estabilidade. *P. patula* apresentou a maioria os valores de Razão h/d < 80 em praticamente todas as idades, porém, apresentou indivíduos com menor estabilidade (h/d > 80) aos cinco, seis e onze anos de idade. Já *P. taeda* apresentou todos os valores de Razão h/d < 80 aos quatro anos de idade, com algumas árvores além do limite crítico (h/d > 80) em todas as idades posteriores. Todas as espécies apresentaram valores discrepantes superiores para Razão h/d em algumas idades da avaliação, denotando a presença de árvores mais susceptíveis a quebra.

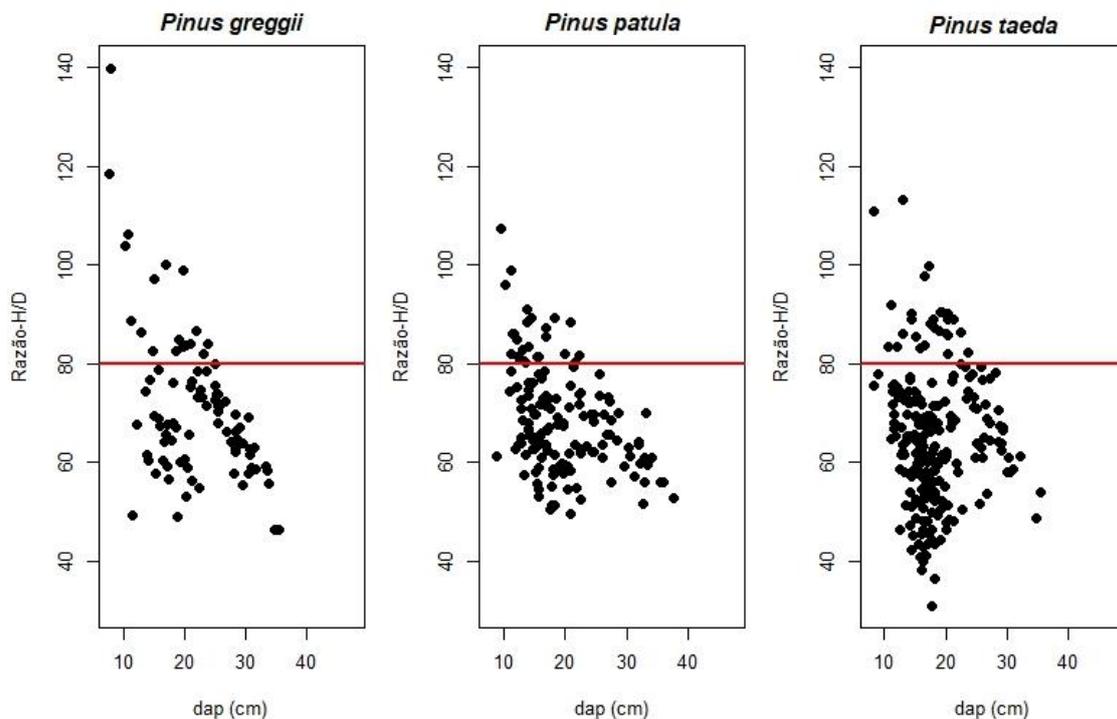
Figura 6 – Análise exploratória da variação da Razão h/d nas diferentes idades dos povoamentos de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*. A linha vermelha expressa o valor crítico de estabilidade das árvores.



Fonte: O autor (2024).

Para os indivíduos de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda* algumas árvores com dap menor que 25 cm apresentaram valores de Razão h/d > 80 (Figura 7), indicando que para as espécies avaliadas as árvores menores (dap < 25 cm) são mais instáveis e susceptíveis a quebra (Wonn; Ohara, 2001). Nos gráficos a linha horizontal vermelha representa o valor crítico de estabilidade, no qual os valores acima sugerem um comprometimento da estabilidade das árvores (Wang *et al.*, 2023). Foi possível observar uma redução na Razão h/d em função do dap, corroborando a ideia de que durante o desenvolvimento as árvores primeiramente investem no crescimento em h e após ocupar o dossel, passam a priorizar o dap (Hess *et al.*, 2021). Outras variáveis ambientais e da estrutura do povoamento podem influenciar a relação h/d e a estabilidade das árvores (Wang *et al.*, 2023; Bošel'a *et al.* 2014), ressaltando a necessidade de novos estudos, principalmente com espécies alternativas menos estudadas. Além disso, vale destacar a importância de um manejo adequado para que as árvores cresçam em h e dap simultaneamente, mantendo a estabilidade e reduzindo o risco de danos (Wonn; O'Hara, 2001).

Figura 7 – Relações entre a Razão h/d e o dap das árvores de *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*. A linha vermelha expressa o valor crítico de estabilidade das árvores.



Fonte: O autor (2024).

Todas as espécies avaliadas no presente estudo apresentaram características diferentes de Razão h/d, com indivíduos apresentando valores acima do valor crítico de estabilidade ( $h/d > 80$ ). Contudo, cabe destacar que este é um índice individual de cada árvore (Konôpka; Konôpka, 2003). Esse índice é importante para avaliar a estabilidade, densidade e competição de povoamentos florestais, fornecendo informações sobre o crescimento vertical, vulnerabilidade da copa e da floresta (Hess *et al.*, 2021). Wonn e O'Hara (2001) destacam que árvores com  $h/d > 80$  tem maior probabilidade de apresentar danos causados por vento e neve. Os autores destacam ainda a importância de manter um espaçamento amplo ou realizar desbastes precoces como formas de evitar o desenvolvimento de árvores instáveis e mais suscetíveis a danos.

#### 4.3 Qualidade do fuste

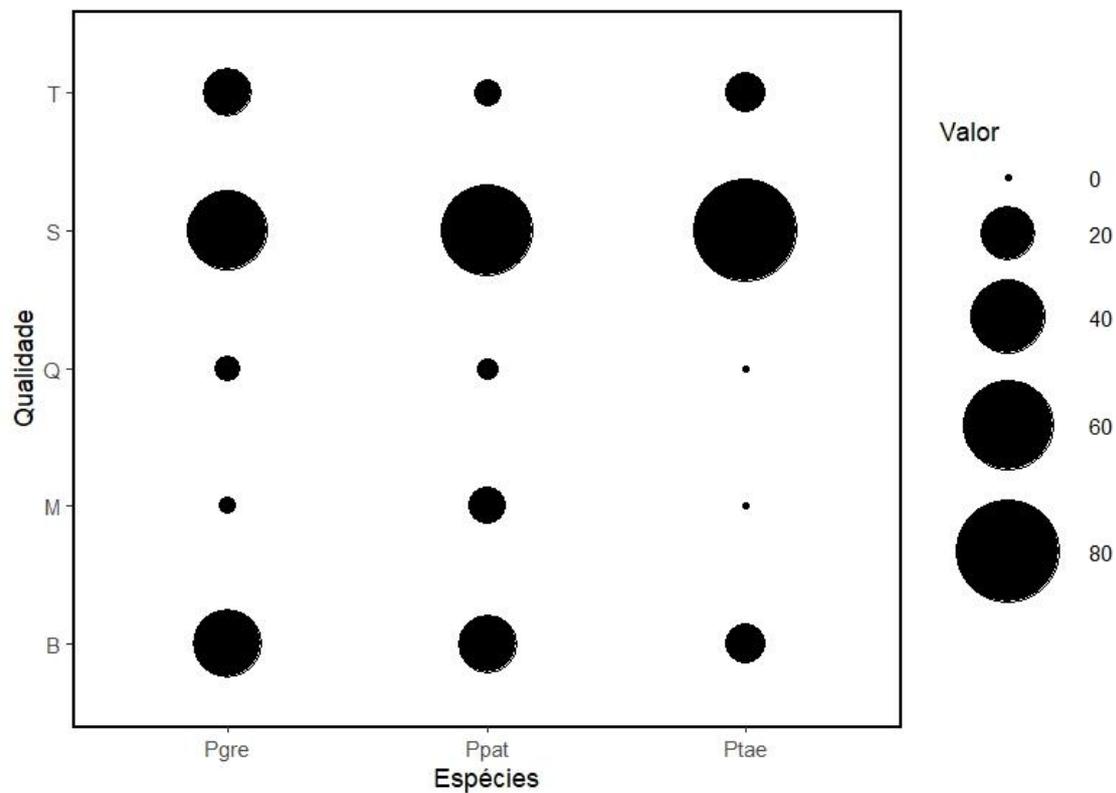
*P. greggii* foi a espécie com maior quantidade de árvores bifurcadas (34%), quebradas (3%) e tortas (15%). A espécie *P. patula* apresentou o maior percentual de árvores mortas (8%), porém com menor presença de indivíduos tortuosos (4%). A espécie *P. taeda* não apresentou árvores mortas e quebradas nesta avaliação e foi a espécie com

menos árvores bifurcadas (9%), apresentando o maior percentual de árvores sadias (81%). A Figura 8 mostra a quantidade de árvores por classe de qualidade para cada espécie, expresso em valores relativos.

*P. greggii* foi a espécie de pior qualidade do fuste dentre as avaliadas. Contudo, é importante destacar que se trata de uma espécie pouco melhorada geneticamente, mas é resistente a climas frios, geadas e secas (Munhoz *et al.*, 2021). Shimizu *et al.* (1992) observaram um número substancial de árvores tortuosas de *P. greggii*, sendo essa uma das espécies com o maior número de bifurcações em uma avaliação realizada aos 13 e 14 anos de idade. Aguiar *et al.* (2010) também observaram árvores de *P. greggii* com 13 anos de idade apresentando fustes muito tortuosos, mas sem problemas de formação, sendo que a maioria das árvores possuía apenas uma bifurcação.

Por outro lado, *P. patula* e *P. taeda* apresentaram qualidades semelhantes no presente estudo, com o primeiro apresentando maior mortalidade. Ao contrário do presente estudo, Shimizu *et al.* (1992) encontrou maior quantidade de árvores tortuosas e bifurcadas de *P. patula*, ao contrário do presente estudo onde a espécie apresentou menor tortuosidade em relação às demais. A espécie de *P. taeda* foi a espécie com maior qualidade dentre as espécies avaliadas. Vale destacar que é a espécie com maior tempo de melhoramento genético dentre as espécies de pinus (Fonseca; Kageyama, 1978; Shimizu, 2008); ao contrário de *P. greggii* em que o início dos primeiros programas de melhoramento no Brasil data das duas últimas décadas (Munhoz *et al.*, 2021).

Figura 8 – Análise da qualidade do fuste para *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda*. Os valores representam as porcentagens calculadas para cada espécie individualmente. Consideraram-se os seguintes critérios: Bifurcada (B), Morta (S), Quebrada (Q), Sadia (S) e Torta (T).



Fonte: O autor (2024).

## 5. CONCLUSÃO

Para estimar o crescimento em dap de *P. greggii*, o modelo selecionado foi o Polinomial (Modelo 5), enquanto para *P. patula* e *P. taeda*, o melhor modelo foi o de Potência (Modelo 2). Na estimativa da h, o modelo de Potência (Modelo 2) foi o mais adequado para *P. greggii*, o de Weibull (Modelo 4) para *P. patula* e o exponencial (Modelo 3) para *P. taeda*. Vale destacar que *P. patula* apresentou maior crescimento médio em dap e h em comparação com as demais espécies.

As espécies demonstraram comportamentos distintos na distribuição dos valores da Razão h/d, com *P. taeda* diferindo estatisticamente das demais. Observou-se também variação conforme a idade do povoamento, com ambas as espécies apresentando valores h/d superiores ao nível crítico em praticamente todas as avaliações. A Razão h/d diminuiu com o aumento do dap e os valores críticos foram geralmente encontrados em árvores com  $\text{dap} \leq 25$  cm.

*P. greggii* apresentou a menor qualidade entre as espécies, com maior número de árvores bifurcadas, quebradas e tortuosas. *P. taeda* teve o menor número de árvores bifurcadas e o maior número de árvores saudáveis, enquanto *P. patula* foi a espécie com menor presença de indivíduos tortuosos, porém com maior mortalidade.

Os resultados obtidos no presente estudo fornecem informações importantes para a silvicultura e manejo de espécies alternativas de pinus na região do Planalto Serrano Catarinense. No entanto, é importante destacar que os fatores avaliados podem variar de acordo com os diferentes locais e sítios, ressaltando a necessidade de novos estudos que avaliem o crescimento e a qualidade de árvores de espécies madeireiras alternativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACR - ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS; **Anuário Estatístico de Base Florestal Para o Estado de Santa Catarina 2022 (Ano Base 2021)**. Lages: STPC - Engenharia de Projetos Ltda, 2022. 105 p.

AGUIAR, A. V. de.; SOUSA, V. A. de.; SHIMIZU, J. Y. Seleção genética de progênies de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 30, n. 62, p. 107-117, 28 out. 2010. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.62.107>.

AGUIAR, A. V. de.; SOUSA, V. A. de.; SHIMIZU, J. Y. **Espécies de *Pinus* mais plantadas no Brasil**. Embrapa florestas. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducao1f6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view &p\\_p\\_col\\_id=column-3&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_76293187\\_sistemaProducaoId=3715&p\\_r\\_p\\_996514994\\_topicoId=3228](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao1f6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view &p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_996514994_topicoId=3228). Acesso em: 29 out. 2024.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 15 out. 2024.

ALVES, M. V. G.; CHIAVETTA, U.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. do A.; KIRCHNER, F. F. Aplicação de k-nearest neighbor em imagens multispectrais para a estimativa de parâmetros florestais. **Floresta**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 351, 13 set. 2013. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v43i3.18083>.

ANTONANGEL, A.; BACHA, C. J. C. As Fases da Silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.

ATAÍDE, G. da M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; ROSADO, A. M. INTERAÇÃO ÁRVORES E VENTOS: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-535, 30 jun. 2015. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509818472>.

BONAZZA, M.; NICOLETTI, M. F.; CRUZ, G. da S.; NOVACK JUNIOR, N. S.; SAMPIETRO, J. A.; SILVA, P. H. B. M. da.; CYSNEIROS, V. C. Methods for volumetric estimations of *Pinus patula*. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 2, p. 673-679, 24 jul. 2019. Advances in Forestry Science. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i2.7893>.

BOŠEĽA, M.; KONÔPKA, B.; ŠEBEŇ, V.; VLADOVIČ, J.; TOBIN, B. Modelling height to diameter ratio – an opportunity to increase Norway spruce stand stability in

the Western Carpathians. **Forestry Journal**, [S.L.], v. 60, n. 2, p. 71-80, 1 jan. 2014. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/forj-2014-0007>.

Brazilian pine in south Brazil. **Journal of Forestry Research**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 191-202, 2 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-019-01084-8>.

CESARO, A. de.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 98-108, 1994.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, jun. 2011.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC.** 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CURTO, R. Modelos para árvores individuais. **Anais da reunião técnica: Biometria florestal—modelos de crescimento e produção**, p. 48, 2013.

DA FONSECA, S. M.; KAGEYAMA, P. Y. Bases genéticas e metodologia para seleção de árvores superiores de *Pinus taeda*. 1978.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; RODRIGUES, F. L. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto desbastados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 741-747, 2005.

DVORAK, W. S.; GUTIÉRREZ, E. A.; GARAPE, W. J.; HODGE, G. R.; OSORIO, L. F.; BESER, C. **Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative.** 2000.

EMBRAPA. **O pinus.** 2020. Disponível em <https://www.embrapa.br/florestas/pinus> Acesso em 28 de Out. 2024.

EMBRAPA SOLOS. Solos do estado de Santa Catarina. **Rio de Janeiro**, p. 745, 2004.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal.** Brasília: UnB, 2005.65p.

FERREIRA, A. R. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Fox J, Weisberg S (2019). **An R Companion to Applied Regression**, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.  
<<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>.

GEORGIN, J. Plantio de *Pinus elliottii* em pequenas propriedades rurais no norte do Rio Grande do Sul. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 341-345, 31 ago. 2014. Universidade Federal de Santa Maria.  
<http://dx.doi.org/10.5902/2236130813371>.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 7-22, 30 mar. 2009. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098415>.

HESS, A. F.; MINATTI, M.; COSTA, E. A.; SCHORR, L. P. B.; ROSA, G. T. da.; SOUZA, I. de A.; BORSOI, G. Ad.; LIESENBERG, V.; STEPKA, T. F.; ABATTI, R. Height-to-diameter ratios with temporal and dendro/morphometric variables for Brazilian pine in south Brazil. **Journal Of Forestry Research**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 191-202, 2 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11676-019-01084-8>.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B.; BRAGA, H.; CAVIGLION, J. H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Zoneamento Climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasi**. Colombo: Embrapa Floresta, 2008.

HORST, T. Z.; DALMOLIN, R. S. D.; CATEN, A. T.; MOURA-BUENO, J. M.; CANCIAN, L. C.; PEDRON, F. de A.; SCHENATO, R. B. Edaphic and Topographic Factors and their Relationship with Dendrometric Variation of *Pinus Taeda* L. in a High Altitude Subtropical Climate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 42, p. 1-16, 6 dez. 2018. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20180023>.

IMANA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, 2005.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual 2023**. [S. 1.] 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. **Indicações para escolha de espécies de pinus**. 2006. Disponível em: [https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/indicacoes\\_para\\_escolha\\_de\\_especies\\_de\\_pinus.aspx](https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/indicacoes_para_escolha_de_especies_de_pinus.aspx). Acesso em: 28 out. 2024.

KERSHAW JUNIOR, J.; DUCEY, M. J.; BEERS, T. W.; HUSCH, B. **Forest Mensuration**. Chichester: John Wiley & Sons, 2016.

KONÔPKA, B.; KONÔPKA, J. Static stability of forest stands in the seventh altitudinal vegetation zone in Slovakia. *Journal Of Forest Science*, [S.L.], v. 49, n. 10, p. 474-481, 31 out. 2003. **Czech Academy of Agricultural Sciences**.  
<http://dx.doi.org/10.17221/4719-jfs>.

LEAO, Regina Machado. **A Floresta e o Homem**. São Paulo: Edusp, 2000.

MACHADO, S. do A.; SOUZA, R. F. de.; APARECIDO, L. M. T.; RIBEIRO, A.; CZELUSNIAK, B. H. EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DA BRACATINGA POR CLASSE DE SÍTIO. *Cerne*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 199-207, jun. 2015. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521021222>.

MACHADO, S. A.; TONON, A. E. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Evolução da área basal e do volume em bracatingais nativos submetidos à diferentes densidades iniciais e em diferentes sítios. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, p. 61-74, 2002.

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R.; MACHADO, S. do A.; CORTE, A. P. d. MODELAGEM DO CRESCIMENTO FLORESTAL CONSIDERANDO VARIÁVEIS DO AMBIENTE: REVISÃO. **Scientia Agraria**, Paraná, v. 14, n. 3, p. 103-110, dez. 2013.

MAYRINCK, R. C.; ROQUE, V. G. R.; FERRAZ FILHO, A. C.; MICHALOSKI FILHO, E.; ARIAS-KING, F.; RIBEIRO, A. Height and volume functions for *Pinus lawsonii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus oocarpa* and *Pinus pringlei* plantations in Guareí, São Paulo, Brasil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, [S.L.], v. 81, n. 4, p. 325-334, 2 out. 2019. National Inquiry Services Center (NISC).  
<http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2019.1636196>.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. DAMAGE CAUSED BY BROWN-CAPUCHIN MONKEYS TO NINE PINUS SPECIES AND THE IMPLICATIONS FOR FOREST MANAGEMENT. **Floresta**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 37, 31 mar. 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i1.44524>.

MOREAU, G.; CECIL-COCKWELL, M. J. L.; ACHIM, A.; BÉDARD, S.; GUILLEMETTE, F.; CASPERSEN, J. Quantifying the Probability of Decline in Quality: implications for selection management in northern hardwood forests. **Forests**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 280, 31 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/f14020280>.

MUNHOZ, L. V.; BIERNASKI, F. A.; PERES, F. S.B.; DIAS, A. N.; TAMBARUSSI, E. V. Predicted genetic gains for growth traits and Genotype x Environment interaction in *Pinus greggii*: new perspectives for genetic improvement in brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 93, n. 3, 2021. (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202120201486>.

NASCIMENTO, F. A. F. do.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MIRANDA, G. de. M.; ARCE, Julio Eduardo. Sistema de crescimento e produção para povoamentos de

*Pinus taeda* na região norte de Santa Catarina. **Cerne**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 235-242, jun. 2015. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521021494>.

NICOLETTI, M. F.; LAMBERT, L.; SOARES, P. R. C.; CRUZ, G. da S.; ALMEIDA, B. R. S.; STEPKA, T. F. Equações hipsométricas, volumétricas e funções de afilamento para *Pinus* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 474-482, 14 dez. 2020. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711942020474>.

OLIVEIRA, L. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A. Potencial Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento do pinus no Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 37-49, 2011. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011>.

PEZZUTTI, R. V.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Estudo e modelagem do crescimento em diâmetro de povoamentos de *Pinus taeda* l. submetidos a podas e desbastes na Argentina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1225-1237, dez. 2016.

PRETZSCH, H. **Forest Dynamics, Growth and Yield: from measurement to model**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

R Core Team (2024). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

RIBEIRO, R. A. Crescimento e produção das variáveis dendrométricas. **Anais da reunião técnica: Biometria florestal—modelos de crescimento e produção**, p. 14, 2013.

SCHNEIDER, P. R.; ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; LONGHI, R. V. Crescimento em diâmetro do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 9, p. 1561-1567, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130744>.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. UFLA/FAEPE, 1998.

SELIGER, A.; AMMER, C.; KREFT, H.; ZERBE, S. Diversification of coniferous monocultures in the last 30 years and implications for forest restoration: a case study from temperate lower montane forests in central Europe. **European Journal Of Forest Research**, [S.L.], v. 142, n. 6, p. 1353-1368, 16 jul. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-023-01595-4>.

SILVA, G. A. da.; LANDAU, E. C.; MARTINS, J. L. A.; COSTA, M. B. T. da. Evolução da Produção de pinus: (*pinus* spp. pinaceae). In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da.; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**. Brasília: Embrapa, 2020. p. 1503-1552.

SHIMIZU, J. Y.; MASSAKI, K. **Crescimento e qualidade de fuste de espécies e procedências de pinus tropicais em São Paulo e Santa Catarina.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 1992. São Paulo.

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na Silvicultura Brasileira.** Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal. **Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.** 71p, 2000.

TEIXEIRA, L. M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus.** 2003. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, Universidade Federal do Amazonas - Ufam, Manaus, 2003.

TÉO, S. J. Modelagem do crescimento e produção de árvore individual, para *Pinus taeda* L., na região meio oeste de Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v. 52, n. 3, p. 436, 19 jul. 2022. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v52i3.86805>.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** 2012. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VALERI, S. V.; DE PAULA, R. C. Síntese das principais características do gênero *Pinus*. 2009.

WANG, J.; WANG, Y.; TIAN, D.; WANG, W.; JIANG, L. Modeling response of tree slenderness to climate, soil, diversity, and competition in natural secondary forests. **Forest Ecology and Management**, China, v. 545, p. 121253, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121253>.

WONN, H. T.; O'HARA, K. L. Height: diameter ratios and stability relationships for four northern rocky mountain tree species. **Western Journal Of Applied Forestry**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 87-94, 1 abr. 2001. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/wjaf/16.2.87>.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SHIMIZU, J. Y.; AGUIAR, A. V. de; CARAMORI, P. H. PINUS TROPICAL COM POTENCIAL PARA USO EM PLANTIOS COMERCIAIS NO BRASIL. **Revista do Instituto Florestal**, Colombo, v. 26, n. 2, p. 137-145, 5 dez. 2014. Revista do Instituto Florestal. <http://dx.doi.org/10.4322/rif.2014.010>.

YAMAMOTO, M. K.; BERBERT, M. L. D. G.; GASPAROTO, E. A. G.; SHINZATO, E. T.; A.I. JÚNIOR, M. Desenvolvimento de uma aplicação sig web e mobile para o

planejamento e a coleta de dados de inventário florestal. In: ANAIS DO XIX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Anais [...]** . 2019. p. 3306-3310.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasil**, [S. L], v. 34, n. 3, p. 431-446, set. 2011.

## **APÊNDICE A – CROQUI DOS POVOAMENTOS ANALISADOS.**

Figura A1 – Croqui esquemático do povoamento de *P. greggii*. Os valores representam os dap medidos em 2023 e as células vazias as árvores mortas ou cortadas.

Estrada									
Linhas									
Árvore	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1			35,3	29,6		29,9			22,1
2	33,7	25,4		30,3			23,8	22,6	
3		29,6	15,1		28,3	27,4		28,2	
4	22,0	19,7		23,6					12,6
5	26,8		31,4	23,1	22,1	31,4	22,5	21,1	
6					27,0		20,8		30,9
7	25,5			24,5		20,0		28,3	
8		22,2		29,4		17,4			28,1
9	27,7		19,8		29,5				
10				24,0		31,1		31,6	
11	20,2	33,6		22,0	28,9			26,0	19,1
12						25,5			
13	24,9		28,3		28,6				28,6
14				20,8		28,8		28,9	
15	30,4		20,8			16,4			
16	22,9	28,2		26,9			26,6	23,8	25,2
17			26,6			19,8			25,4
18				22,6	25,0		28,2	25,3	
19	23,5	30,6				30,2			
20				27,1	20,8		17,4	15,0	16,9
21	24,9		21,0	22,9					
22	25,0		17,0			29,4	20,0		30,7
23		33,2		29,8	25,5		20,5		
24		18,7			17,3		27,3		34,8

Fonte: O autor (2024).

Figura A2 – Croqui esquemático do povoamento de *P. patula*. Os valores representam os dap medidos em 2023 e as células vazias as árvores mortas ou cortadas.

Estrada											
Linhas											
Árvore	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		37,75						33,07		27,28	
2	27,02			34,12	25,69	24,76			22,98		
3						22,19		30,62			29,86
4	20,88			31,89	16,93					32,98	
5	20,82		35,56			26,67		33,04	24,57		
6				28,49	24,06					19,99	
7		36,10					31,35		22,50		26,96
8	30,40					29,67		24,26		22,44	
9			25,53	33,49			16,62	21,39	18,18		18,21
10		16,74				33,33		22,19		32,05	25,94
11				28,68				21,26	21,55		
12		32,31		27,34	27,47	26,26				20,53	32,63

Fonte: O autor (2024).

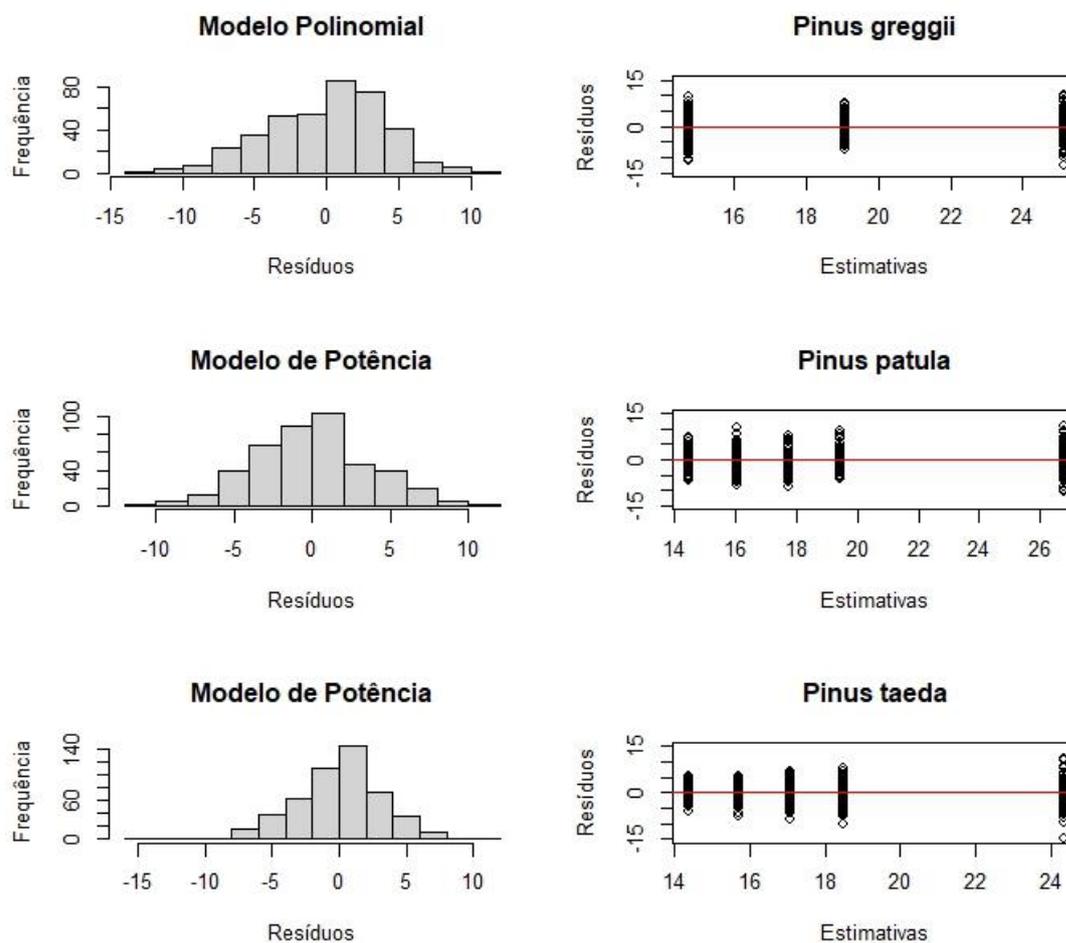
Figura A3 – Croqui esquemático do povoamento de *P. taeda*. Os valores representam os dap medidos em 2023 e as células vazias as árvores mortas ou cortadas.

<b>Estrada</b>								
<b>Linhas</b>								
<b>Árvore</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	23,1		29,3	30,4		26,8		26,6
<b>2</b>	23,6	18,9	18,0		29,1		25,0	
<b>3</b>		32,2		21,2		30,5		
<b>4</b>			25,7				34,8	
<b>5</b>	28,5	21,4		20,1		30,1		28,7
<b>6</b>		25,1	29,0		23,3	9,5	24,8	20,3
<b>7</b>	22,3	19,0		24,6		26,1		
<b>8</b>	17,7	20,2		23,7			25,8	19,3
<b>9</b>		26,0	25,7		26,1		27,1	
<b>10</b>	17,2			24,6		20,8		16,5
<b>11</b>	20,2	24,4	21,2	14,5			18,2	
<b>12</b>		17,5	21,4		18,9		27,1	29,4
<b>13</b>		24,0	23,3	30,9		29,0		
<b>14</b>								28,9
<b>15</b>	28,0	27,2	33,0	26,5	22,5		35,5	

Fonte: O autor (2024).

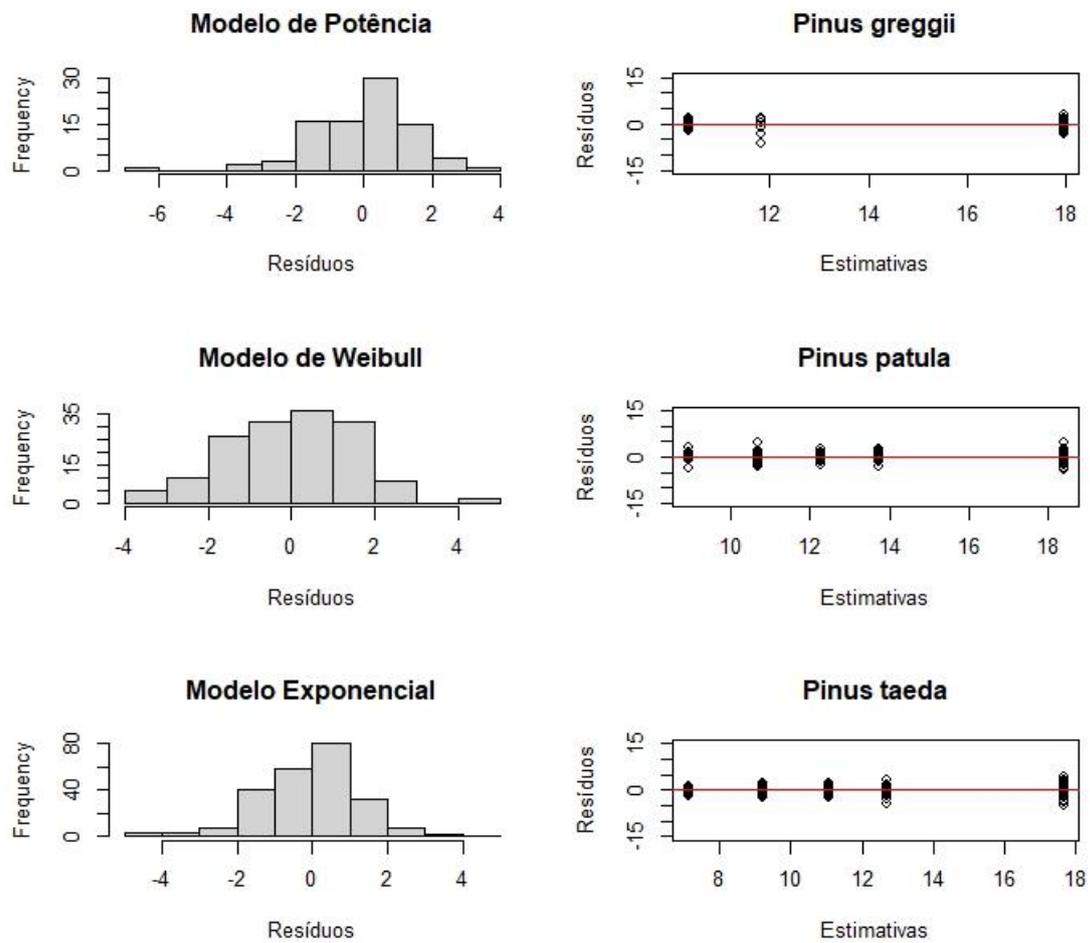
## APÊNDICE B - AVALIAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS DOS MODELOS DE CRESCIMENTO.

Figura A4 – Análise da normalidade e homoscedasticidade dos resíduos para os melhores modelos selecionados para o dap das espécies analisadas.



Fonte: O autor (2024).

Figura A5 – Análise da normalidade e homoscedasticidade dos resíduos para os melhores modelos selecionados para h das espécies analisadas.



Fonte: O autor (2024).