

NILTON SERGIO NOVACK JUNIOR

**CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA REGIMES DE PODA EM *Pinus taeda* L. VISANDO
PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade de Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares
Coorientador: Prof. Dr. Mário Dobner Júnior

**LAGES
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

NOVACK JUNIOR, NILTON SERGIO
CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA REGIMES DE PODA EM *Pinus*
taeda L. VISANDO PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS /
NILTON SERGIO NOVACK JUNIOR. - Lages , 2018.
75 p.

Orientador: PHILIPE RICARDO CASEMIRO SOARES
Co-orientador: MÁRIO DOBNER JÚNIOR
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2018.

1. MANEJO FLORESTAL. 2. NÚCLEO NODOSO. 3. PERFIL
DO FUSTE. 4. PLANEJAMENTO FLORESTAL. I. CASEMIRO
SOARES, PHILIPE RICARDO. II. DOBNER JÚNIOR, MÁRIO.
, .III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

NILTON SERGIO NOVACK JUNIOR

**CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA REGIMES DE PODA EM *Pinus taeda* L. VISANDO
PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná

Membro:

Marcos Felipe Nicoletti

Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 09 de fevereiro de 2018

Aos meus pais, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Nilton e minha mãe Nádia, meu irmão Kelvin e minha irmã Nicole, pelo apoio e confiança em todas as fases de minha formação. São responsáveis pela motivação para que tudo fosse possível.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares e Prof. Dr. Mário Dobner Junior pela oportunidade de desenvolver esse trabalho e também pelos valiosos ensinamentos compartilhados.

À Florestal Gateados por possibilitar a execução do trabalho e proporcionar todo o suporte necessário. Ao corpo técnico da empresa, em especial ao Ian Sartório, Daiton Monteiro e Eduardo Araki pelas discussões construtivas essenciais para a elaboração do estudo. À equipe de inventário e manejo florestal (José Euclides, Cleiton Alves e Paulo Carneiro) por tornar as coletas de dados possíveis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UDESC).

À todos que de alguma forma contribuíram para que a conclusão desse trabalho fosse possível.

RESUMO

As florestas destinadas à produção de madeira para múltiplos usos são consideradas uma opção de investimento atrativa no Sul do Brasil. Esses povoamentos têm por característica a produção de madeira para os mais diferentes nichos de mercado, desde celulose e painéis reconstituídos até laminados de madeira livre de nós. A produção de madeira livre de nós em escala e ciclo comercial demanda a aplicação de um regime de poda. Usualmente estes regimes são realizados baseando-se em regras genéricas simples, que acabam sendo ineficientes frente aos mais variados sítios e materiais genéticos, gerando resultados insatisfatórios diante da exigência de qualidade do mercado consumidor. Com o presente estudo, objetivou-se a avaliação de critérios técnicos para aplicação em regimes de poda em *Pinus taeda*. Foram realizadas análises em povoamentos de 3 a 7 anos, os quais foram amostrados por meio de inventário florestal, e seus perfis de fuste foram determinados com base em ajuste de modelos de afilamento. A partir destas fontes de dados, foi possível diagnosticar as dimensões das árvores de cada um dos povoamentos estudados e inferir sobre o planejamento das operações de poda, baseando-se em pressuposições e restrições de altura de copa remanescente e também realizar estimativas de núcleo nodoso da região poda. As avaliações realizadas sugeriram a inclusão de indicadores diamétricos relacionados à dinâmica de manejo da floresta para auxiliar na definição do momento ideal de intervenção, além de avaliar quantitativamente a altura potencial de poda e o diâmetro do núcleo nodoso resultantes. Diante dos resultados encontrados, conclui-se que os critérios técnicos aplicados aos regimes de poda são essenciais para garantir um resultado satisfatório. Nesse sentido, recomenda-se o monitoramento anual das florestas a partir dos 3 anos de idade e realização de análises quantitativas com base em indicadores para balizar o planejamento operacional das intervenções de poda.

Palavras-chave: manejo florestal, núcleo nodoso, perfil do fuste, planejamento florestal.

ABSTRACT

Forests destined to the production of wood for multiple uses are considered an attractive investment option in the south of Brazil. These stands have characteristic such as the production of wood for the most different market niches, from pulp and reconstituted panels to knot free wood laminates. The knot free timber production in commercial scale and cycle requires the application of a pruning regime. These regimes are usually based on simple generic rules that end up being inefficient when they came across the most varied genetic materials and sites, generating unsatisfactory results in view of the quality demanded by the consumer market. The objective of this study was to evaluate the technical criteria for application in pruning regimes in *Pinus taeda*. Analyzes were carried out in stands of 3 to 7 years old, which were sampled by means of forest inventory, and their stem profiles were determined based on adjustment of models of tapering functions. From these data sources, it was possible to diagnose the dimensions of the trees of each of the studied stands and to infer about the planning of the pruning operations, based on presumptions and restrictions of remaining canopy height and also to make estimates of the knotty core on the pruning region. The evaluations suggested the inclusion of diametric indicators related to the dynamics of the forest management to help define the ideal moment of intervention, as well as to quantitatively evaluate the potential height of pruning and the diameter of the resulting knotty core. In view of the results found, it is concluded that the technical criteria applied to pruning regimes are essential to ensure a satisfactory result. In this sense, the annual monitoring of forests from the age of 3 is recommended and quantitative analysis based on indicators to guide the operational planning of pruning interventions.

Keywords: forest management, knotty core, steam profile, forest planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	26
Figura 2 - Precipitação média mensal (Colunas) e temperaturas médias mensais (Linhas) para uma série histórica de 2009 a 2016.....	27
Figura 3 - Ferramentas utilizadas na realização das operações de poda. A - tesoura elétrica, B - Serrote.....	28
Figura 4 - Croqui de instalação das unidades amostrais.....	30
Figura 5 - Representação do diagrama de caixas.	31
Figura 6 - Representação do perfil da árvore exemplificando as variáveis relacionadas às análises realizadas.....	34
Figura 7 - Representação do espaçamento entre venticilos.	37
Figura 8 - Configuração do cilindro oco de madeira sem nós no interior de uma tora.	38
Figura 9 - Boxplot das variáveis dendrométricas mensuradas no inventário florestal.....	41
Figura 10 - Estrutura horizontal e vertical das florestas avaliadas.....	42
Figura 11 - Dispersão gráfica dos resíduos de estimativa dos modelos selecionados.....	46
Figura 12 - Perfil do fuste descrito pelo modelo de Hradetzky por idade.....	47
Figura 13 - Representação do posicionamento dos indicadores de diâmetro dominante.....	48
Figura 14 - Representação das médias diamétricas por idade.....	49
Figura 15 - Diagrama de caixas do espaçamento entre venticilos por idade.	51
Figura 16 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 3 anos.	52
Figura 17 - Representação do núcleo nodoso entre duas intervenções de poda.....	53
Figura 18 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 3 anos de idade.	54
Figura 19 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 4 anos.	56
Figura 20 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 4 anos de idade.	57
Figura 21 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 5 anos.	59
Figura 22 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 5 anos de idade.	60
Figura 23 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 6 anos.	61
Figura 24 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 6 anos de idade.	62

Figura 25 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 7 anos..... 63

Figura 26 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 7 anos de idade. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Regime de poda adotado pela empresa.....	28
Tabela 2 - Variáveis dendrométricas mensuradas no inventário florestal.....	30
Tabela 3 - Características qualitativas contempladas no inventário florestal.....	32
Tabela 4 – Densidade ao longo do ciclo dos povoamentos.....	35
Tabela 5 - Variantes do diâmetro dominante proposto por Assman.....	36
Tabela 6 - Erro de amostragem à 95% de probabilidade de confiança para número de árvores por hectare (N), Diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (ht) para as idades estudadas.....	40
Tabela 7 - Informações qualitativas observadas no levantamento.....	43
Tabela 8 - Caracterização de diâmetro à altura do peito e altura total por idade das árvores utilizadas nos ajustes.....	44
Tabela 9 - Coeficientes dos modelos ajustados por idade.....	44
Tabela 10 - Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos por idade.....	45
Tabela 11 - Correlação de Pearson do espaçamento entre venticulos (ev) com as demais variáveis do inventário florestal.....	50
Tabela 12 - Dimensões das árvores indicadoras dg, d500 e d250 para o povoamento de 3 anos de idade.....	52
Tabela 13 - Dimensões das árvores indicadoras dg, d500 e d250 para o povoamento de 4 anos de idade.....	55
Tabela 14 - Dimensões das árvores indicadoras dg, d500 e d250 para o povoamento de 5 anos de idade.....	58
Tabela 15 - Dimensões das árvores indicadoras dg, d500 e d250 para o povoamento de 6 anos de idade.....	61
Tabela 16 - Dimensões das árvores indicadoras dg, d500 e d250 para o povoamento de 7 anos de idade.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
1.2	HIPÓTESE	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	O GÊNERO <i>Pinus</i>	22
2.2	MANEJO FLORESTAL PARA MULTIPRODUTOS	22
2.3	INVENTÁRIO FLORESTAL E FUNÇÕES DE AFILAMENTO	23
2.4	PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	26
3.1.1	Localização	26
3.1.2	Clima	26
3.1.3	Solo	27
3.1.4	Caracterização florestal das áreas de estudo	27
3.2	INVENTÁRIO FLORESTAL	29
3.3	MODELAGEM DO PERFIL DO FUSTE	32
3.4	VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E RELAÇÕES BIOMÉTRICAS	34
3.4.1	Diâmetros dominantes	35
3.4.2	Espaçamento entre venticilos	36
3.5	REGIMES DE PODA	37
3.5.1	Pressuposições	37
3.5.2	Análises de regimes de poda	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	INVENTÁRIO FLORESTAL	40
4.2	MODELAGEM DO PERFIL DO FUSTE	43
4.3	VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E RELAÇÕES BIOMÉTRICAS	47
4.3.1	Diâmetros dominantes	47
4.3.2	Espaçamento entre venticilos	50
4.4	REGIMES DE PODA	51
4.4.1	Análise do povoamento com 3 anos de idade (1 ^a Poda)	51
4.4.2	Análise do povoamento com 4 anos de idade (2 ^a Poda)	55
4.4.3	Análise do povoamento com 5 anos de idade (3 ^a Poda)	58

4.4.4 Análise do povoamento com 6 anos de idade (4^a Poda).....	61
4.4.5 Análise do povoamento com 7 anos de idade (5^a Poda).....	63
4.4.6 Considerações sobre o regime de poda atual	65
5 CONSIDERAÇÕES PARA A PRÁTICA	66
6 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A pressão sobre as florestas naturais, decorrente de sua exploração descontrolada no passado, fez com que ao longo do tempo o uso da madeira oriunda de florestas nativas fosse substituído pela proveniente de florestas plantadas. Na região Sul do Brasil, se tornou uma opção o investimento em plantios florestais de espécies do gênero *Pinus* como forma de substituir o uso de madeira de espécies nativas como a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze., explorada de maneira predatória no século passado.

Neste contexto, a madeira de *Pinus taeda* L. se destacou na indústria e vem sendo produzida em larga escala em plantios comerciais. Tal fato se deve às características fisiológicas da espécie e anatômicas da madeira por ela produzida. Seus produtos madeireiros são utilizados em diversos segmentos do setor florestal. De uma mesma árvore pode-se obter madeira serrada para móveis e construção civil, lâminas para revestimentos, painéis reconstituídos, celulose e papel, entre outros.

No entanto, a obtenção de alguns produtos diferenciados, como é o caso da madeira livre de nós, a aplicação de tratos silviculturais que garantam sua qualidade é essencial, para que as toras produzidas possuam os padrões exigidos pelo mercado consumidor. As dimensões e características qualitativas dos sortimentos produzidos em florestas de usos múltiplos influenciam diretamente o seu preço de venda.

Diante de um mercado competitivo, os empreendimentos florestais devem priorizar a excelência na qualidade de seus processos e produtos nos segmentos em que atuam. Em empreendimentos que visam originar multiprodutos, a madeira livre de nós também é um diferencial para diversificação do mercado consumidor, formado por empresas de laminados e serrados que visam atingir consumidores primários exigentes. Nesse nicho, os consumidores buscam madeira com aparência livre de imperfeições ocasionadas pela nodosidade.

A produção de madeira livre de nós é dependente da queda dos galhos na região do fuste em que a tora for produzida, podendo ocorrer de forma natural ou por meio de intervenções silviculturais. Para o *P. taeda*, a queda natural dos ramos acontece de forma lenta e tardia, impossibilitando a produção de toras com aproveitamento vantajoso em ciclos comerciais.

Diante disso, torna-se necessária a operacionalização de regimes de poda para garantir a produção de madeira livre de nós com qualidade. Essa operação consiste na retirada de galhos vivos das árvores em idades jovens, enquanto seu fuste possui diâmetros reduzidos. Normalmente, é realizada em várias intervenções, para que a retirada de copa viva não impacte consideravelmente o desenvolvimento do indivíduo e o núcleo nodoso seja minimizado.

A prática de poda para produção de madeira livre de nós sempre esteve na pauta de diversas discussões no âmbito florestal, em função de sua influência no balanço econômico de projetos florestais. Esse trato silvicultural pode gerar impacto no crescimento das árvores, uma vez que é realizada a retirada de galhos vivos, reduzindo a capacidade fotossintética do indivíduo. Além disso, trata-se de uma operação florestal que demanda investimentos para ser realizada. Por outro lado, quando realizada da maneira correta e quando houver demanda pelo produto, possivelmente agrega valor à madeira produzida.

Em suma, três fatores geram influência direta no sucesso das operações de poda, sendo eles: a copa remanescente, o núcleo defeituoso e o número de intervenções. O comprimento de copa remanescente tem relação direta com a capacidade de crescimento do indivíduo, podas muito severas podem acarretar reduções consideráveis no desenvolvimento da árvore.

O núcleo defeituoso, é a porção da tora em que as inserções dos galhos no fuste estão localizadas até a área de oclusão da base de inserção do galho cortado. Todo incremento diamétrico obtido após a oclusão do núcleo nodoso é considerado produção de madeira livre de nós. A influência desse fator está na proporção entre volume livre de nós e volume com nodosidade em uma tora. Para que a madeira consiga agregar valor comercial, deve-se ter uma proporção considerável de volume livre de nós na tora. Diante disso, o menor núcleo defeituoso possível é imprescindível.

O número de intervenções relaciona-se com fatores operacionais. Um elevado número de intervenções pode acarretar em custos elevados na operação de poda. Um número reduzido de intervenções com poda de caráter severo poderia reduzir capacidade de crescimento em função do baixo volume de copa remanescente. Intervenções que retirem uma baixa proporção de galhos poderiam atender o fator crescimento, no entanto, o núcleo defeituoso seria mais elevado que o ideal e exigiria um número de intervenções excessivo, elevando o custo do regime de poda.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo Geral**

Desenvolver critérios técnicos para definição de regimes de poda visando a produção de madeira livre de nós em florestas de *P. taeda*, no Planalto Sul do Brasil.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

- Descrever base de dados quantitativos que auxiliem o desenvolvimento de critérios técnicos aplicáveis aos regimes de poda;
- Descrever o perfil do fuste de indivíduos de *P. taeda* de 3 a 7 anos;

- Desenvolver indicadores para o embasamento do planejamento operacional da poda;
- Determinar o núcleo nodoso mínimo possível mantendo 4 metros de copa remanescente; e
- Descrever estratégias para realização de intervenções de poda com base nos critérios técnicos desenvolvidos e nas premissas utilizadas.

1.2 HIPÓTESE

A aplicação de critérios técnicos em regimes de poda para a espécie em questão resulta em melhorias no planejamento das operações e na qualidade do produto gerado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *PINUS*

Inicialmente com finalidade ornamental, o gênero *Pinus* foi introduzido no Brasil há pouco mais de 100 anos. Em 1906 foram publicados os primeiros resultados dos experimentos pioneiros da espécie, pelo Instituto Florestal de São Paulo (KRONKA et al., 2005).

A silvicultura deste gênero tem marco inicial nas décadas de 1960 e 1970 com o advento do incentivo fiscal, que foi uma diretriz estratégica para desenvolvimento do país (VASQUES et al., 2007). Atualmente, os plantios do gênero *Pinus* ocupam 1,6 milhão de hectares no Brasil, destes concentram-se 42% no Paraná e 34% em Santa Catarina, abastecendo a indústria com 47,2 milhões de metros cúbicos em 2016 (IBÁ, 2017). Nesse contexto, tais espécies são componentes de um sistema socioeconômico que contribui para a manutenção do desenvolvimento da região Sul e de toda uma cadeia produtiva nacional (VASQUES et al., 2007).

A espécie *P. taeda*, nativa da Costa Atlântica do Sudeste dos Estados Unidos da América (LORENZI et al., 2003) mostrou excelente adaptação ao Sul do Brasil, principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina (BARRICHELO et al., 1977). Frente aos principais países produtores do gênero, o Brasil possuí a maior taxa de incremento médio anual, com média nacional de $31\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ (IBÁ, 2017).

2.2 MANEJO FLORESTAL PARA MULTIPRODUTOS

Segundo Sanquetta et al. (2003), a silvicultura do *Pinus*, antes voltada à produção de papel e celulose, empregou, tradicionalmente, densidades de plantio com lotação de 2.000 a 2.500 árvores por hectare. Recentemente, a indústria madeireira passou a optar por espaçamentos mais amplos, que permitissem obter maiores volumes de madeira para serraria e laminação, em menor espaço de tempo e a menores custos (pela redução do número de desbastes).

Houve uma tendência de introdução do conceito de florestas para multiprodutos, em que de um mesmo fuste de uma árvore fosse possível extrair madeira para laminação, serraria, celulose e papel e ainda aproveitar resíduos para fabricação de chapas de fibras e produção de energia (SOARES, et al. 2003).

Para maior atratividade do manejo para múltiplos usos, buscou-se formas para a garantia de florestas mais produtivas. O aumento da produtividade dos povoamentos está altamente relacionado com as práticas de manejo e planejamento do uso das florestas (KOHLER, et al.

2015). Além disso, preocupou-se também com o aumento da dimensão radial das árvores por meio de técnicas de manejo florestal.

O diâmetro da árvore é fator determinante no uso e no valor da madeira por ela produzida. Ao longo do ciclo do plantio florestal, a partir do segundo desbaste, os volumes de madeira com dimensões que podem ser destinadas à laminação começam a ganhar destaque (KOHLER, et al. 2015). Na laminação, apesar de poder ser realizada independente da nodosidade da madeira, a presença ou ausência de nós reflete diretamente no valor agregado do produto.

A qualidade da madeira e sua destinação final é função de diversas características. Segundo Hoppe & Freddo (2003), muitos são os defeitos que depreciam a qualidade da madeira, entre eles, os nós, especialmente nas espécies de rápido crescimento.

Nó é a porção basal de um galho que se encontra ligada ao tronco, provocando, na sua vizinhança, desvios ou a descontinuidade dos tecidos lenhosos. Quanto à aderência, o nó pode ser vivo ou preso e morto ou solto (BURGER; RICHTER, 1991).

Segundo Scolforo et al. (2001), a ocorrência de defeitos internos do fuste dificulta a produção de madeira de alta qualidade, uma vez que não é possível identificar tais defeitos com a árvore ainda em pé. Sendo assim, a quantidade de recursos investidos na colheita, transporte e desdobro dessa madeira de baixa qualidade se torna impactante na cadeira produtiva. Portanto, é imprescindível a aplicação correta de diferentes técnicas de poda e desbaste, visando à obtenção de madeira livre de nós com boa qualidade para serraria, laminação ou faqueado.

2.3 INVENTÁRIO FLORESTAL E FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Diante da necessidade de detalhamento de informações no âmbito do planejamento florestal, o inventário florestal é uma ferramenta essencial como fonte de informação segura para a tomada de decisões. Para Pélico Netto e Brena (1997), inventário florestal é uma atividade que visa obter informações quantitativas e qualitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada e podem ser classificados em função de seus objetivos, abrangências, modo de obtenção dos dados, abordagem da população no tempo e do grau de detalhamento dos resultados.

O inventário florestal, quando utilizado como base para aplicação de modelos de afilamento, é capaz de auxiliar na solução de diversos problemas no âmbito do manejo florestal. O emprego desses modelos é uma consequência natural da evolução e importância do setor florestal no Brasil, no qual o aprimoramento das técnicas de inventário, associado à necessidade

de flexibilização da informação de estoques de madeira, despertou um maior interesse na depuração das informações de inventário (YOSHITANI JUNIOR et al., 2012).

De acordo com Husch et al. (1993), o afilamento do fuste das árvores é o decréscimo natural do diâmetro ao longo do tronco e tem efeito direto no volume das árvores, sendo o seu conhecimento de fundamental importância na quantificação de dados para estimativa de multiprodutos da madeira.

Os modelos de afilamento são um instrumento poderoso, pois podem avaliar um povoamento florestal do ponto de vista biológico, silvicultural e econômico, uma vez que permitem a descrição da forma das árvores, suas mudanças de acordo com diferentes tratos silviculturais e a valoração, de maneira minuciosa, de quanto retorno financeiro trará o povoamento florestal (FISCHER et al., 2001).

2.4 PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS

As espécies de *Pinus* introduzidas no Brasil apresentam desrama natural pobre, tornando necessária a utilização da poda artificial, como meio de produzir madeira de melhor qualidade. A poda de galhos vivos evita a formação de nós mortos e, reduz o diâmetro do núcleo nodoso (SCHILLING, 1996).

Para do Vale et al. (2002), a poda artificial é realizada com o intuito de aumentar a qualidade do produto final, obtendo-se madeira livre de nós em partes do tronco, que de outra forma só produziria material com nodosidade.

Entretanto, a remoção de galhos vivos pela poda pode reduzir a taxa de incremento na base do fuste e, pela concentração maior de incremento diamétrico na região de copa viva da árvore, a poda tende a reduzir a conicidade das árvores (KOZLOWSKI, 1984).

Qualquer alteração no padrão de crescimento de uma árvore, resultante ou não de intervenções silviculturais, pode resultar em variações na qualidade da madeira. A poda verde, ou poda dos galhos ainda vivos, pode ser responsável por uma diminuição do crescimento, principalmente em diâmetro, devido à redução da área fotossintética da planta (ZOBEL, 1992). No entanto, existem níveis de redução de copa que não afetam significativamente o crescimento da planta (SEITZ, 1995).

Cown (1973), estudando a influência de vários níveis de poda combinados ou não com a realização de desbastes em *Pinus radiata*, encontrou para todos os tratamentos uma redução inicial na largura dos anéis. A remoção de 60% da copa mostrou uma redução inicial no incremento em diâmetro de 75% em relação à testemunha, porém, a despeito da severidade dos tratamentos de desrama, a recuperação do crescimento após as intervenções foi bastante rápida.

Segundo Mäkinen et al. (2014), em coníferas a intervenção de poda impacta em maior proporção o incremento diamétrico, do que o incremento em altura. A poda também pode alterar a distribuição do crescimento ao longo do fuste. Existem alguns indícios de que a retirada de ramos de alturas inferiores da árvore reduz o incremento diamétrico desta região, tornando a árvore mais cilíndrica (O'HARA, 1991).

Já com relação ao núcleo nodoso, sua dimensão é um balanço entre a severidade da poda, o período de execução da operação e o crescimento da árvore (O'HARA, 2007). Para a poda se tornar viável economicamente, deve-se realizar a operação de forma que o incremento resultante posterior a cicatrização do núcleo nodoso origine madeira suficiente para um aproveitamento industrial considerável (ZOBEL, 1992). Em uma árvore devidamente podada, a madeira formada após a recuperação da poda estará livre de defeitos e com melhores propriedades (O'HARA, 2007).

Além do controle sobre o crescimento, um programa de podas executado de forma científica, promove o alinhamento da grã ao longo da peça proporcionando o entrelaçamento das fibras (compressão) e o estiramento das mesmas (tração) e produz madeira livre de nós, de alta qualidade (VORREITER, 1958).

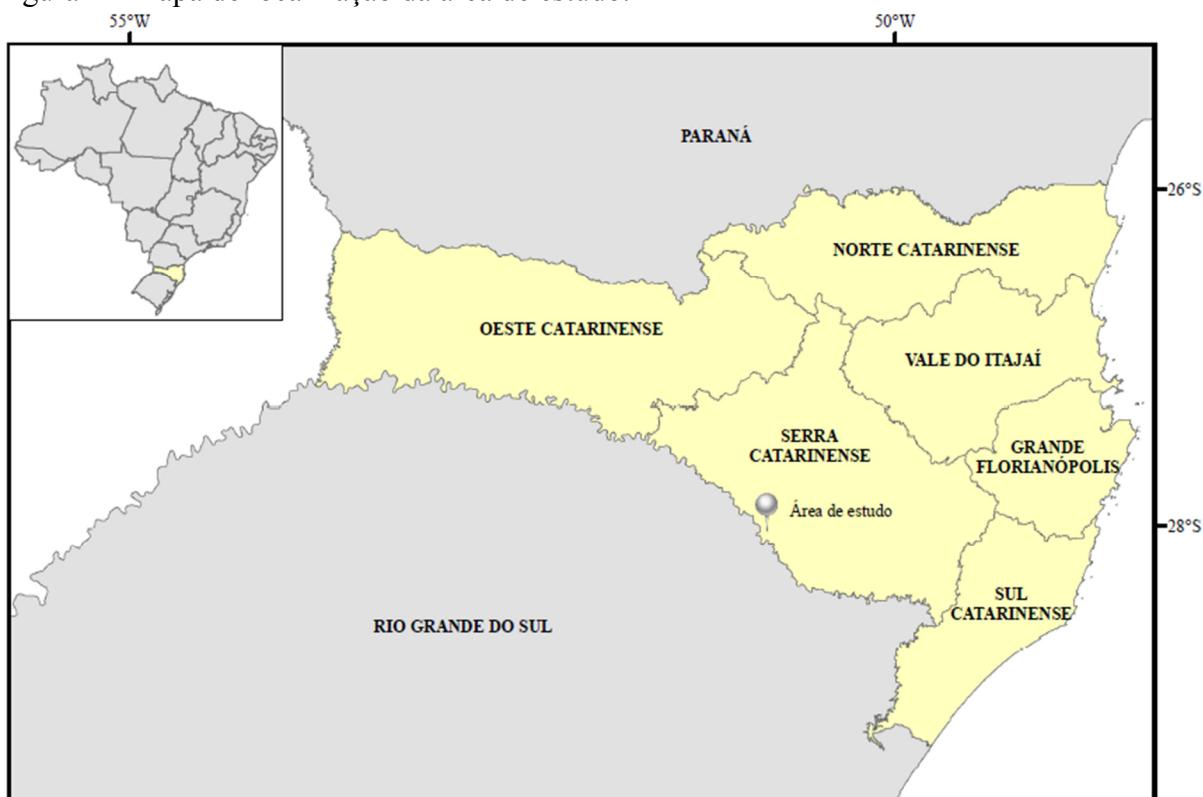
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

3.1.1 Localização

O estudo foi desenvolvido em plantios florestais situados nos municípios de Campo Belo do Sul e Capão Alto (coordenadas do ponto central: 28°01'50" S 50°47'13" W, altitude média de 950 m a. n. m.), localizados na Serra Catarinense (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

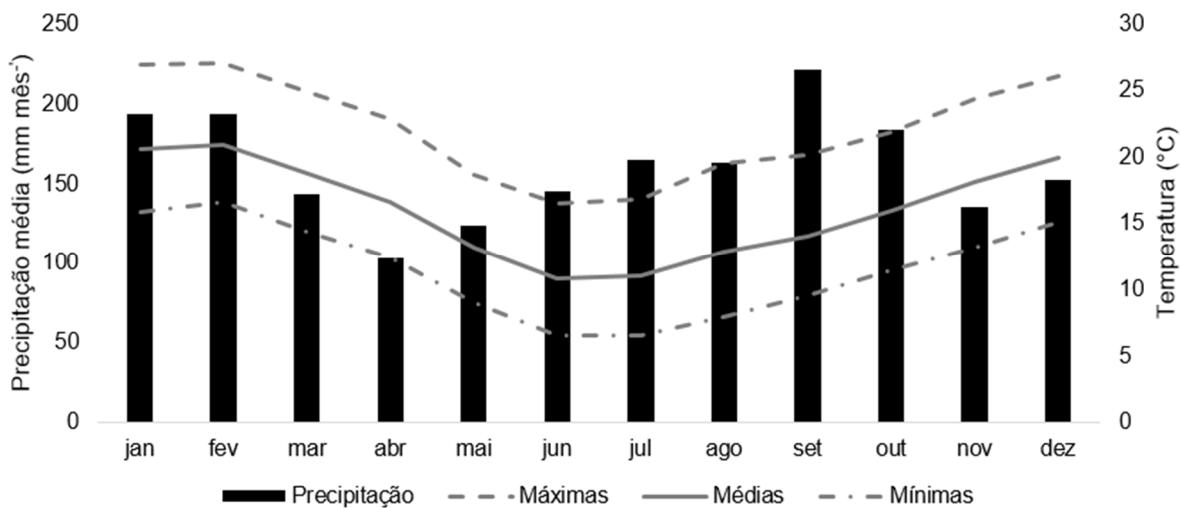


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.1.2 Clima

A região de estudo pertence à classe Cfb, conforme classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). Caracterizada pelo clima temperado com verões brandos e sem estação seca definida. A Figura 2 demonstra graficamente a distribuição mensal das chuvas e a oscilação anual de temperatura de uma série histórica de 2009 a 2016, correspondente ao período de rotação do povoamento de maior idade contemplado no estudo até os dados mais recentes disponíveis (INMET, 2017).

Figura 2 - Precipitação média mensal (Colunas) e temperaturas médias mensais (Linhas) para uma série histórica de 2009 a 2016.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (Base de dados INMET, 2017).

Durante o período considerado, a precipitação média anual foi de 1923 mm bem distribuídas ao longo dos meses, sendo abril o mês mais seco e setembro o mês mais chuvoso. As temperaturas apresentaram redução considerável nos meses de inverno.

3.1.3 Solo

Os solos das áreas de estudo são originados de riodacito, rocha efusiva da formação Serra Geral. Nitossolo Háplico é o solo de maior representatividade na região, porém, com associações de Cambissolo e Neossolo Litólico. São solos minerais, não hidromórficos, argilosos, bem drenados, de coloração tipicamente brunada. Os horizontes superficiais apresentam-se bastante espessos e endurecidos, com elevados teores de matéria orgânica (GUEDES, 2005).

3.1.4 Caracterização florestal das áreas de estudo

Os povoamentos florestais nas áreas de estudo têm como objetivo a produção de madeira destinada aos múltiplos usos no *cluster* em que está inserida. Com isso, a madeira em toras comercializada no empreendimento se converte aos mais diversos produtos, desde madeira para processo, madeira serrada, até lâminas de madeira livre de nós.

Diante disso, o manejo florestal empregado visa criar as condições favoráveis para que o desenvolvimento dos indivíduos atenda aos requisitos de crescimento e qualidade exigidos pelo mercado.

As áreas de estudo são plantios comerciais de *P. taeda* implantados em espaçamento de 2,5 m x 2,5 m. Tratos culturais como roçada e aplicação de herbicida foram realizados nos primeiros anos para controle de competição de plantas invasoras e também de regenerações do

ciclo anterior. Para possibilitar a comercialização de madeira livre de nós, os povoamentos florestais são submetidos à um regime de poda.

O regime de poda da empresa segue um procedimento padrão, em que se considera apenas a idade dos indivíduos como critério de intervenção, sem levar em conta o seu desenvolvimento ou classe de sítio. A partir deste critério, a cada ano o procedimento determina uma altura de poda padrão (Tabela 1).

Tabela 1 - Regime de poda adotado pela empresa.

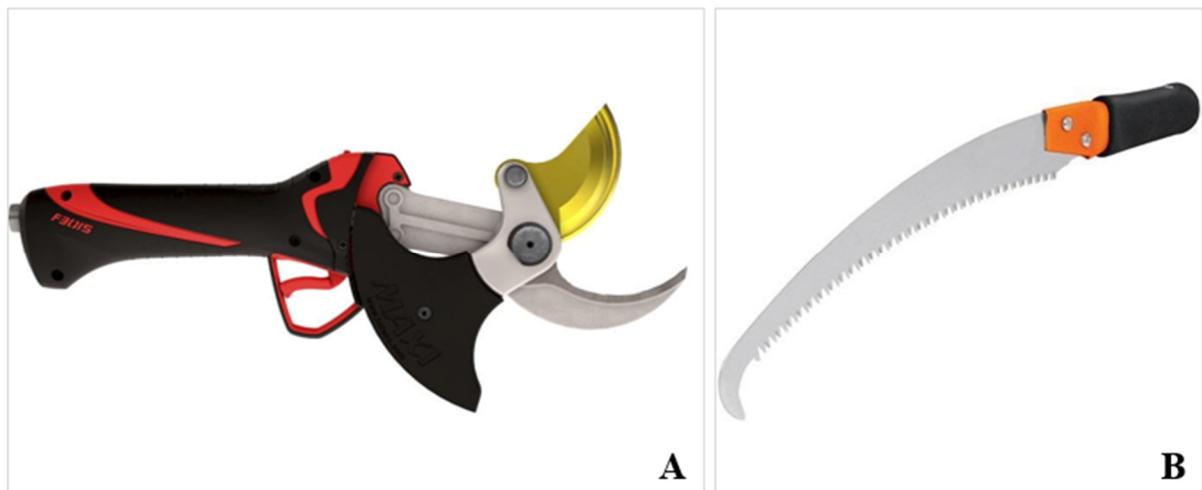
Idade (anos)	Altura de poda (m)
3	1,5
4	2,8
5	3,8
6	4,8
7	5,8

Fonte: Florestal Gateados (2017).

A operação de poda consiste na retirada de galhos até a altura pré-definida. No entanto, uma a cada cinco linhas, correspondente a linha sistemática do primeiro desbaste, não sofre a intervenção.

Para executar as operações, utilizam-se duas ferramentas distintas, tesoura elétrica para as intervenções em menores alturas, em que o operador alcança os galhos, e serrote com cabo extensor para realizar a retirada dos galhos em alturas superiores ao alcance do operador (Figura 3).

Figura 3 - Ferramentas utilizadas na realização das operações de poda. A - tesoura elétrica, B - Serrote.



Fonte: A: INFACO. Disponível em: <<http://www.agriexpo.online/pt/prod/infaco/product-175376-20640.html>>. Acesso em: 02 jan. 2018. B: MAXIFER. Disponível em: <<http://www.maxiferferragens.com.br>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

A retirada dos galhos é realizada de forma que o corte fique rente ao fuste. Dessa maneira, a cicatrização e oclusão do toco de galho se torna mais breve e o núcleo defeituoso da tora, consequentemente, é reduzido.

O plano de manejo prevê a produção de toras de grandes dimensões. Para isso, o ciclo de rotação dos projetos florestais é previsto para aproximadamente 25 anos. Ao longo do desenvolvimento da floresta, definiu-se a realização de três intervenções de desbaste antes do corte final. O período ideal das intervenções é determinado com base em critérios técnicos que acompanham e avaliam a competição intraespecífica.

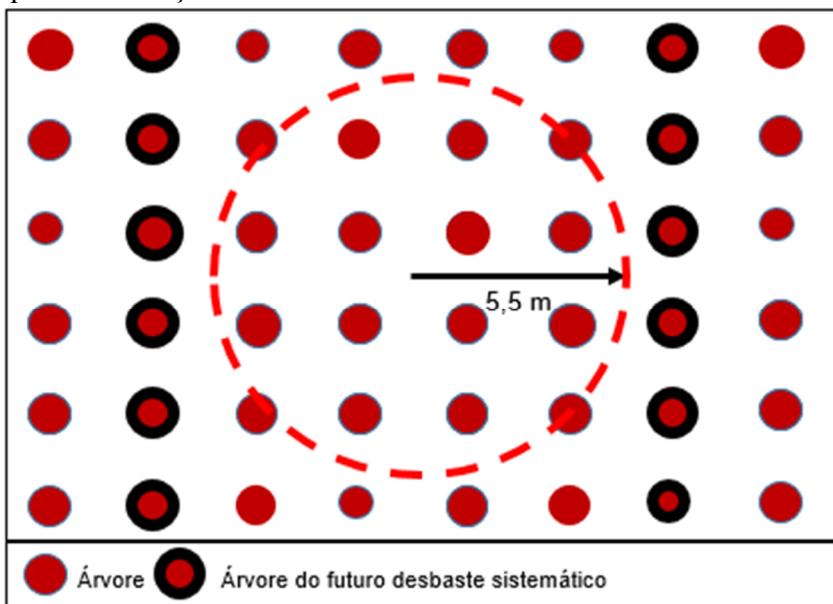
A seleção das árvores nas intervenções segue o modelo de desbaste pelo alto (COLÉGIO FLORESTAL DE IRATI, 1986; RIBEIRO et al., 2002; KERR e HAUFÉ, 2011; DOBNER JR. e HUSS, 2015). Esse método de desbaste consiste na seleção de árvores-futuro e eliminação de concorrentes diretas. Essa seleção baseia-se no vigor, na qualidade e na distribuição das árvores. Conforme relatado por Dobner Jr. (2014), baseado nos primeiros trabalhos com a descrição detalhada deste tipo de desbaste na língua alemã, o vigor é o critério mais importante nesse método, uma vez que apenas árvores com alta vitalidade podem imprimir a melhor resposta à condição proporcionada pela eliminação de suas concorrentes. A qualidade das árvores é o segundo critério a ser observado, priorizando árvores com formas de tronco e copa desejáveis. O terceiro critério é a distribuição das árvores na área, visando homogeneidade nos talhões.

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram selecionados cinco projetos florestais que seguem o manejo padrão supracitado, contemplando todas as idades referentes ao regime de poda descrito. Com base em informações referentes ao ciclo anterior nas áreas, buscou-se selecionar povoamentos florestais inseridos em sítios intermediários.

3.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Para realização do inventário florestal, foi aplicado o processo de amostragem aleatório-sistemático por idade, em que se definiu uma rede de pontos amostrais possíveis com base em uma malha de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), espaçada em 100 metros nos sentidos latitude e longitude. Posteriormente, procedeu-se casualização e seleção de 15 unidades amostrais por idade. A coordenada resultante do processo de amostragem definiu o local de instalação da unidade amostral. No entanto, a instalação foi condicionada a premissa de evitar que a linha de árvores não podadas fosse contemplada (Figura 4), uma vez que as árvores que não fazem parte do regime de poda também não fazem parte do escopo do estudo. Foi utilizado o método de amostragem de área fixa, com unidades amostrais circulares de 95 m² de área (Raio de 5,5 m).

Figura 4 - Croqui de instalação das unidades amostrais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A inclusão das árvores na unidade amostral considerou o raio pré-definido, na qual os indivíduos que estivessem com proporção maior que 50% do diâmetro de seu fuste no perímetro pertenciam a unidade amostral. No caso de árvores que estivessem posicionadas com exatamente 50% do seu fuste no raio de abrangência da amostra, denominadas de árvores duvidosas, utilizou-se o critério de inclusão relatado por Sanquetta et al. (2009), em que alternou-se a inclusão e omissão de árvores nessa condição nas unidades amostrais. Foi definido um caminhamento padrão para a mensuração das árvores, perpendicular à estrada, iniciando a coleta na linha da extremidade esquerda e finalizando na linha da direita. As variáveis dendrométricas mensuradas no levantamento estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis dendrométricas mensuradas no inventário florestal.

Variável (unidade de medida)	Definição
dap (cm)	Diâmetro da árvore mensurado à 1,30 m do solo.
h_t (m)	Altura total da árvore.
h_{bv} (m)	Altura da base até o primeiro verticilo do fuste.
h_{2v} (m)	Altura da base até o segundo verticilo do fuste.

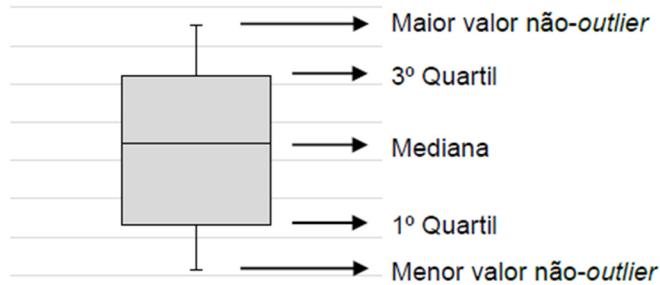
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A mensuração do diâmetro foi realizada com suta, sendo duas medidas opostas e utilizando sua média para cada árvore. As variáveis de altura foram obtidas pela mensuração indireta com a utilização de um hipsômetro Vertex IV. As variáveis foram coletadas de todas as árvores que compunham a unidade amostral.

Para aferir a precisão do levantamento, determinou-se um erro amostral admissível de 10% (95% de probabilidade de confiança) para o número de árvores por hectare (N), diâmetro à 1,30 m do solo (dap) e altura total (ht). A seleção dessas variáveis se deve ao fato do inventário florestal ter como objetivo formar uma base de dados para análises de relações biométricas, diferentemente dos inventários florestais convencionais em que a principal variável é o volume por unidade de área.

Todas as variáveis mensuradas foram avaliadas quanto a sua dispersão, simetria e existência ou não de dados discrepantes (*outliers*) por meio do diagrama de caixa (*boxplot*) para cada variável. O gráfico é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana dos dados, em que a caixa representa um intervalo de valores no qual se encontram 50% dos dados observados (Figura 5), os 50% restantes dos dados se encontram divididos igualmente acima e abaixo da caixa.

Figura 5 - Representação do diagrama de caixas.



Fonte: (SARTÓRIO, 2014).

As hastes superior e inferior se estendem do terceiro e primeiro quartil até o maior e menor valor não-*outlier*, respectivamente. Considera-se *outlier* um valor inferior ao primeiro quartil somados a 50% da diferença interquartílica ou um valor superior ao terceiro quartil mais 50% da diferença interquartílica (TRIOLA, 2010).

Além disso, para as variáveis que refletem a estrutura da floresta, diâmetro à altura do peito e altura total, suas distribuições de frequência foram analisadas. Segundo Triola (2010), uma distribuição de frequência mostra como o conjunto de dados é dividido entre todas as classes, listando-as juntamente com o número de valores de dados presentes em cada uma delas. O conjunto de dados de cada variável por idade foi agrupado em classes definidas pelo método de Sturges (STURGES, 1926). As distribuições de frequência foram representadas por meio de histogramas com sua respectiva curva de densidade normal.

Além das variáveis dendrométricas, características qualitativas relevantes também foram contempladas no levantamento, uma vez que árvores com determinadas características

possuem tratamento diferenciado ao longo das operações de manejo. A Tabela 3 apresenta a descrição das características qualitativas avaliadas no inventário florestal.

Tabela 3 - Características qualitativas contempladas no inventário florestal.

Característica	Definição
Bifurcação	Bifurcação acima de 1,30 m de altura
Coroa de Galho	Verticilo com protuberância e elevado número de galhos
Fox tail	Longa porção do fuste sem ramificações
Galho Fujão	Galho de desenvolvimento acelerado
Normal	Árvores que não apresentaram defeitos
Quebrada	Quebra de copa em qualquer altura do fuste
Tortuosa	Tortuosidade acentuada do fuste

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Todas as árvores com as características qualitativas negativas foram consideradas no processamento de dados do inventário florestal, porém, foram descartadas das análises posteriores, uma vez que a presença acarreta na exclusão desses indivíduos do regime de poda. Todos os processamentos de dados foram realizados no software estatístico de programação R (R CORE TEAM, 2016).

3.3 MODELAGEM DO PERFIL DO FUSTE

Para possibilitar a predição de diâmetros ao longo do fuste e para que essa informação fomente o planejamento de intervenções de poda, optou-se pela utilização de funções de afilamento. As funções de afilamento têm por característica gerar três principais estimativas: diâmetro a qualquer altura do fuste, altura relativa à um determinado diâmetro e volumes parciais ou total (HUSCH et al., 1993).

Com base em inventário florestal prévio, foi possível verificar a estrutura horizontal de cada uma das cinco idades contempladas no estudo. A partir desta informação selecionou-se, no mínimo, 20 árvores-amostra por idade, buscando cobrir toda a amplitude de variação diamétrica de cada povoamento separadamente.

Os indivíduos selecionados foram submetidos ao procedimento de cubagem rigorosa destrutiva, realizando as mensurações baseadas na metodologia proposta por Smalian (FINGER, 1997) com adaptações no intervalo entre seções. Medidas de diâmetro ao longo do fuste foram tomadas nas seguintes posições, tomando a base da árvore como ponto zero: 0,2 m, com intervalos de 0,5 m até a altura de 7 m; e a partir desta, mensurando diâmetros em intervalos de um metro até a altura total.

Além das medidas de diâmetro ao longo do fuste, a altura da base da copa verde e altura total também foram coletados. Definiu-se altura de copa verde como o comprimento de fuste entre o ponto de inserção do primeiro galho vivo da árvore e sua altura total.

A compilação das informações coletadas formou uma base para a modelagem do perfil do fuste das florestas avaliadas. Diante de informações que retratem fidedignamente as condições analisadas, realizou-se o ajuste de três modelos de funções de afilamento (PRODAN et al., 1997), sendo eles:

a) Polinômio de 2º grau (Kozak et al., 1969)

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + \varepsilon \quad \text{Eq. 1}$$

b) Polinômio de 5º grau (Schoepfer, 1966)

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^5 + \varepsilon \quad \text{Eq. 2}$$

c) Polinômio de Potências Fracionárias (Hradetzky, 1976)

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{pn} + \varepsilon \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo: d_i : diâmetro na altura h_i (cm); dap : diâmetro a 1,30 m do solo (cm); h_i : altura na posição i no fuste da árvore (m); h_t : altura total da árvore (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: coeficientes dos modelos; $p1, p2, \dots, pn$: potências a serem selecionadas por *stepwise* no polinômio de potências fracionárias; ε : erro de estimativa.

Para analisar o desempenho dos modelos testados para cada idade, o coeficiente de determinação ajustado ($R_{aj.}^2$) foi utilizado como estatística de ajuste e o erro padrão da estimativa (S_{yx}) como estatística de precisão, além de análise gráfica da distribuição percentual dos resíduos de estimativa de diâmetro ao longo do fuste (DRAPER; SMITH, 1966).

O coeficiente de determinação ajustado demonstra numericamente a proporção de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes, quanto mais próximo da unidade, maior o ajuste. O erro padrão da estimativa é um indicador de dispersão média do erro entre os valores observados e estimados, qualificando o modelo que obter um valor mais próximo de zero. A análise gráfica da dispersão residual das estimativas é a plotagem da diferença relativa entre valores estimados e valores observados em função dos valores estimados.

Tendo em vista o escopo do estudo, a variável de maior interesse é o diâmetro ao longo do fuste das árvores (d_i), com isso, esta foi a variável utilizada no cálculo das estatísticas de análise do desempenho dos modelos.

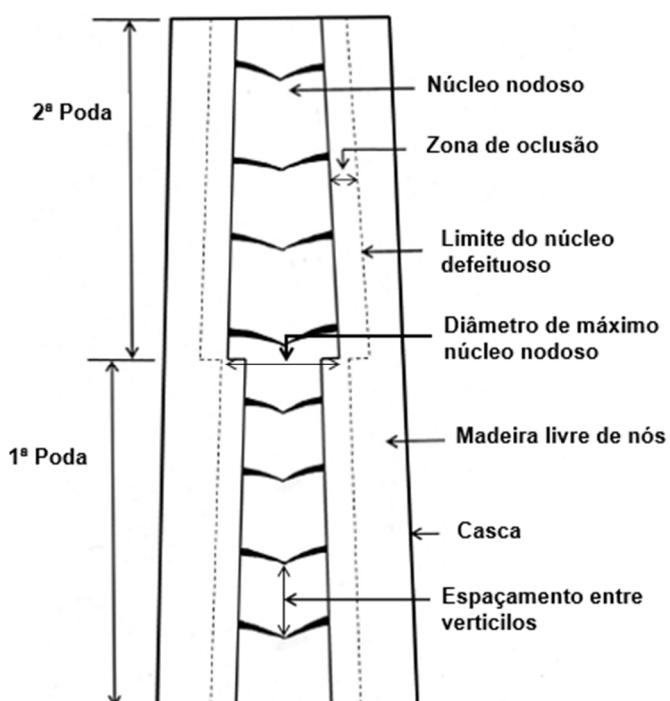
3.4 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E RELAÇÕES BIOMÉTRICAS

Com a finalidade de vincular o regime de manejo da floresta com o planejamento das intervenções de poda, indicadores diamétricos que apontem as prováveis árvores que permaneceriam até o corte final foram analisados.

No plano de manejo prescrito para os povoamentos estudados, salvo a linha de primeiro desbaste sistemático e árvores com defeitos acentuados, a poda é prevista para as demais árvores, independentemente de sua dimensão. Em função das dimensões diamétricas do povoamento no momento do primeiro desbaste, os sortimentos gerados não possuem valor comercial como madeira livre de nós, devido à baixa proporção entre núcleo defeituoso e a região com madeira livre de nós. Dessa forma, buscou-se realizar análises da dimensão das árvores inseridas no povoamento com a finalidade de construir indicadores que auxiliem nos regimes de poda.

Além de inferências em nível de povoamento, alguns indicadores relacionados à árvore também foram avaliados. Para tanto, caracterizou-se as variáveis utilizadas nas análises (Figura 6).

Figura 6 - Representação do perfil da árvore exemplificando as variáveis relacionadas às análises realizadas.



Fonte: O'HARA (2007), adaptado pelo autor, 2018.

- Núcleo nodoso: diâmetro do fuste onde está inserida a coroa de galhos podados. Em função da conicidade da árvore, o diâmetro do núcleo nodoso varia em função de sua posição da região podada em cada intervenção.
- Diâmetro de máximo núcleo nodoso: também chamado de *diameter over stubs* (DOS), é a região do fuste referente ao primeiro galho podado em cada intervenção, consequentemente, é a região de máximo diâmetro em cada intervenção de poda (NIELSEN; PINKARD, 2003).
- Zona de oclusão: região de cicatrização do núcleo nodoso, pode ser definida pelo incremento necessário para que a base do galho podado seja completamente coberto e se inicie a produção de madeira livre de nós. O incremento necessário para oclusão é função de diversos fatores como diâmetro e comprimento do toco de galho. No entanto, O’Hara (2007), em uma revisão de diversos estudos históricos com diferentes espécies, concluiu que quanto mais paralelo e próximo do fuste for a retirada do galho, menor será a zona de oclusão, desde que não sejam danificadas as demais estruturas do galho.
- Limite do núcleo defeituoso: Região de início da produção de madeira livre de nós.
- Madeira livre de nós: Incremento diamétrico posterior à oclusão do núcleo defeituoso.
- Espaçamento entre veticilos: altura correspondente ao intervalo entre duas coroas de galho.

Cada elemento relacionado às operações de poda deve ser analisado e contemplado em um regime, uma vez que as ações resultantes de um planejamento de intervenções refletem na qualidade do produto gerado. Diante disso, buscou-se indicadores dimensionais das árvores que possibilitem fazer com que os indivíduos de maior qualidade em um povoamento sejam podados no momento ideal.

3.4.1 Diâmetros dominantes

O regime de manejo das florestas estudadas prevê a realização de três desbastes e uma densidade final média de 250 árvores por hectare no corte raso, planejado para ocorrer aos 25 anos de idade (Tabela 4).

Tabela 4 – Densidade ao longo do ciclo dos povoamentos.

Faixa de idade (anos)	Número de intervenções	Densidade Média (árv./ha)
0-8	Nenhum Desbaste	1600
8-14	1 Desbaste	900
14-18	2 Desbastes	500
18-25	3 Desbastes	250

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Tendo em vista o desenvolvimento dos indivíduos submetidos ao planejamento de manejo mencionado anteriormente, as prescrições do regime de poda devem garantir que as intervenções da operação sejam realizadas no momento ótimo das árvores que tendem a permanecer até o corte final.

Conforme descrito anteriormente, os povoamentos seguem princípios de desbaste pelo alto, em que são selecionadas árvores-futuro considerando sua dominância, além de características qualitativas e sua espacialização no talhão. Diante disso, buscou-se indicadores que possam determinar prováveis árvores-futuro mesmo em idades juvenis.

Para tanto, foram avaliadas variantes do diâmetro dominante (d_{100}). Essa variável dendrométrica é a média das 100 árvores de maior diâmetro em um hectare, calculada de forma proporcional à área da unidade amostral (ASSMAN, 1970, apud DOBNER JR. et al., 2017). Em função da juvenilidade dos povoamentos submetidos à poda, a identificação de apenas 100 árvores dominantes não garante que a dominância das mesmas perdure durante todo o ciclo. Considerando as prescrições de manejo florestal na situação estudada, avaliou-se as variantes do d_{100} apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Variantes do diâmetro dominante proposto por Assman.

Denominação	Descrição
d_{250}	Média das 250 árvores de maior diâmetro em um hectare.
d_{500}	Média das 500 árvores de maior diâmetro em um hectare.

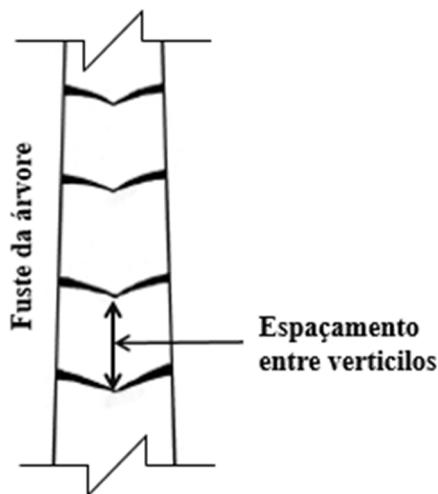
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Esses indicadores foram avaliados de maneira gráfica, plotando sua posição em relação a distribuição diamétrica de cada idade estudada. Foi realizada uma análise visual desses indicadores em relação ao d_{100} e também ao diâmetro médio quadrático (d_g) descrito por Finger (1992).

3.4.2 Espaçamento entre verticilos

A estrutura da copa das árvores é formada por verticilos que fornecem sustentação aos galhos e estão distribuídos de forma espaçada no fuste. Portanto, a soma do espaçamento entre verticilos ao longo de toda a copa da árvore é denominada altura de copa. Dessa forma, cada verticilo retirado de uma copa resulta em uma redução na altura de copa correspondente à sua distância até o próximo verticilo (Figura 7).

Figura 7 - Representação do espaçamento entre verticilos.



Fonte: O'HARA (2007), adaptado pelo autor, 2018.

Com base no método utilizado no inventário florestal, foi possível determinar a distância média entre verticilos pela subtração da altura do segundo verticilo (h_{2v}) da altura da base da copa verde (h_{bv}) conforme demonstra a Equação 4.

$$e_v = h_{2v} - h_{bv} \quad \text{Eq. 4}$$

Sendo: e_v : espaçamento entre verticilos (m); h_{2v} : altura do segundo verticilo (m); h_{bv} : altura da base da copa verde (m).

Esse procedimento de cálculo foi realizado para todas as árvores normais da base de dados do inventário florestal. Posteriormente, foi realizado teste de correlação de Pearson (TRIOLA, 2010) com as demais variáveis coletadas no levantamento.

Além disso, avaliou-se a dispersão dos dados de espaçamento entre verticilos por idade por meio de *boxplot* e também foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de significância para verificar se há diferença entre as idades avaliadas.

3.5 REGIMES DE PODA

Um regime de poda consiste na elaboração de um procedimento padrão que oriente as intervenções, baseando-se em indicadores que norteiem o desenvolvimento da operação de forma a atingir resultados padronizados e condizentes com o produto final desejado.

3.5.1 Pressuposições

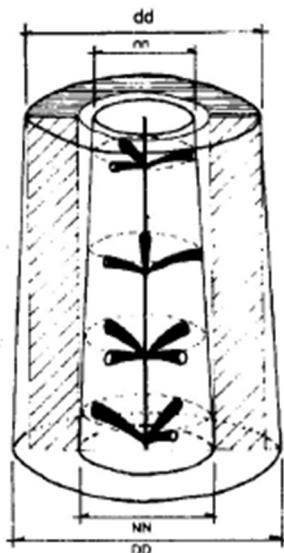
Diante da descrição dos fatores que geram influência em regimes de poda, algumas premissas foram tomadas como pressuposições para construção de um regime de poda adequado à espécie e aos objetivos em questão.

Com relação à redução de crescimento oriunda da diminuição de copa das árvores, tomou-se como limite mínimo 4 metros de copa remanescente. O valor foi definido com base no estudo realizado por Seitz (1995), no qual foram descritos diversos critérios para definição

da altura de copa remanescente ideal, minimizando os prejuízos no desenvolvimento das árvores, avaliando árvores de *P. taeda*, verificou que o limite máximo que não prejudica o desenvolvimento do indivíduo são 4 metros de copa remanescente.

Com relação ao núcleo defeituoso, há um consenso na literatura que essa região é reflexo da operação de poda. Isso envolve tanto a severidade das intervenções, quanto sua periodicidade. Portanto, deve-se buscar a minimização de sua dimensão, refletindo na maximização do aproveitamento da madeira livre de defeitos. O potencial de aproveitamento da madeira é uma relação entre o diâmetro do núcleo nodoso e o incremento diamétrico posterior a sua oclusão. A Figura 8 demonstra o perfil do interior de uma tora podada.

Figura 8 - Configuração do cilindro oco de madeira sem nós no interior de uma tora.



Sendo: dd: diâmetro da ponta fina; DD: diâmetro da ponta grossa; nn: núcleo nodoso na ponta fina; NN: núcleo nodoso na ponta grossa.

Fonte: (SEITZ, 1995).

Como mencionado, o potencial de aproveitamento de madeira livre de imperfeições em uma tora é a relação entre o volume do cilindro com nós e o volume incrementado após a sua oclusão. Portanto, o que determinará o aproveitamento dessa tora será sua dimensão diamétrica no final do ciclo e a relação com a região com defeitos. Sendo assim, em cada simulação de poda, os núcleos defeituosos resultantes da redução dos galhos até a restrição estipulada pela altura de copa viva foram estimados.

3.5.2 Análises de regimes de poda

O regime de poda vigente nos projetos florestais avaliados não contempla o uso de critérios técnicos ou relações biométricas para seu planejamento. Conforme já descrito, o regime se baseia na aplicação de uma regra generalizada de aumento da altura podada em função da idade.

Diante de todos os indicadores descritos, foi elaborado um modelo de análise do panorama das variáveis que se relacionam com a poda com a finalidade de embasar a tomada de decisão no âmbito do planejamento das operações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INVENTÁRIO FLORESTAL

O inventário florestal é uma ferramenta essencial para o conhecimento quantitativo e qualitativo da floresta. Com a aplicação do sistema de amostragem descrito e a intensidade amostral proposta, foi possível atingir os níveis de precisão para todas as idades, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Erro de amostragem à 95% de probabilidade de confiança para número de árvores por hectare (N), diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (h_t) para as idades estudadas.

Idade	N (árv./ha)		dap (cm)		h _t (m)	
	Média	Erro Amostral	Média	Erro Amostral	Média	Erro Amostral
3	1.467	±68 (4,7%)	8,4	±0,5 (5,7%)	6,2	±0,5 (7,9%)
4	1.572	±59 (3,7%)	12,8	±0,6 (4,6%)	7,7	±0,3 (3,7%)
5	1.488	±67 (4,5%)	12,5	±0,8 (6,6%)	10,3	±0,5 (4,8%)
6	1.224	±65 (5,3%)	18,0	±0,6 (3,6%)	13,5	±0,2 (1,8%)
7	1.636	±96 (5,9%)	17,9	±0,6 (3,3%)	15,2	±0,2 (1,5%)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

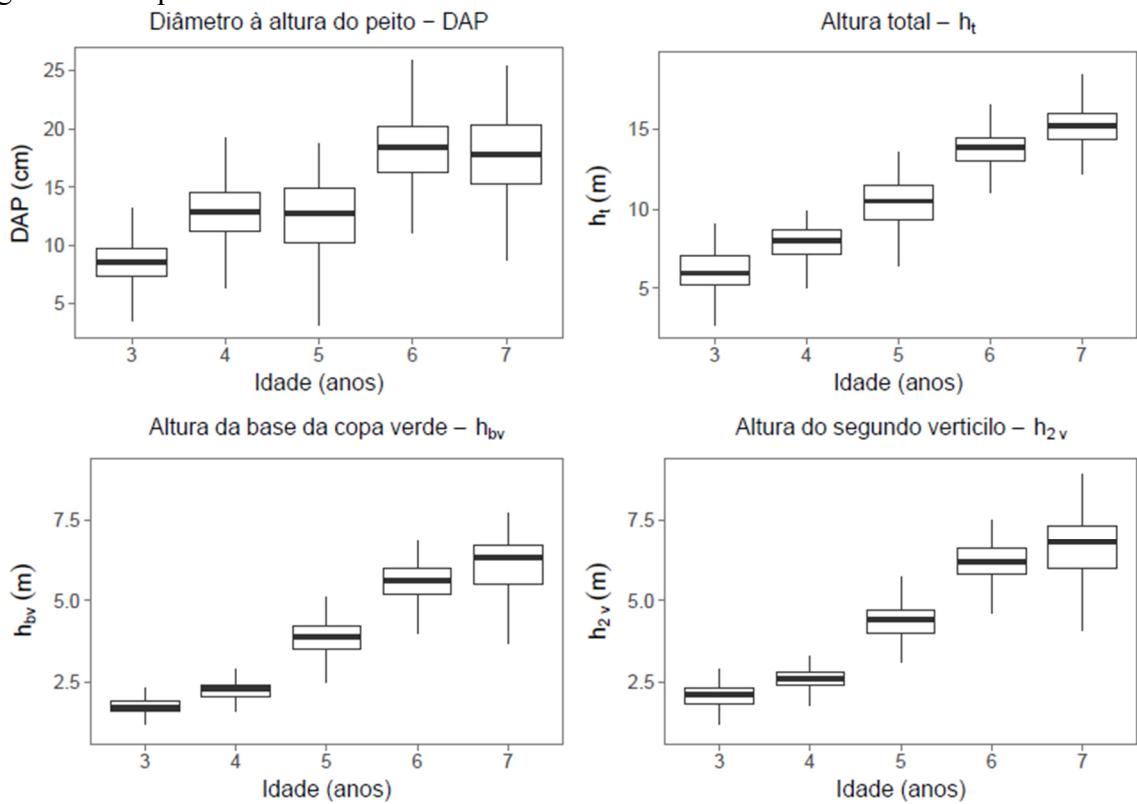
O erro amostral refere-se à variabilidade entre unidades amostrais e demonstra quão eficiente a amostragem realizada foi para representar os povoamentos em questão. Além disso, reflete o grau de homogeneidade das florestas, uma vez que amostras extraídas de diferentes pontos ao longo da floresta apresentaram resultados convergentes, conclui-se que os povoamentos apresentaram uma estrutura similar ao longo de sua extensão.

Com relação ao número de árvores por hectare (N), o intervalo de confiança foi inferior à ±100 árvores por hectare em todos os casos, representando em torno de 5% de erro amostral. Para as variáveis dendrométricas, o erro amostral absoluto ficou inferior à unidade e menor que 10% em todos os casos. O povoamento com 6 anos de idade apresentou um número médio de árvores por hectare inferior ao esperado (1600 árvores por hectare), ocasionado em função da mortalidade ocorrido nos anos de implantação.

Diante do exposto, os valores relacionados ao erro amostral atenderam ao limite de erro admissível para todas as idades, em todas as variáveis. Isso demonstra que a representatividade da amostragem foi significativa, garantindo um intervalo de confiança que possibilite construir as inferências propostas nos objetivos do estudo diante da base de informações gerada.

As variáveis quantitativas mensuradas no povoamento foram avaliadas para que fosse possível entender seu comportamento e realizar análises relacionadas ao escopo do estudo. A Figura 9 demonstra graficamente, na forma de *boxplot*, as estatísticas descritivas das variáveis mensuradas no levantamento.

Figura 9 - Boxplot das variáveis dendrométricas mensuradas no inventário florestal.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

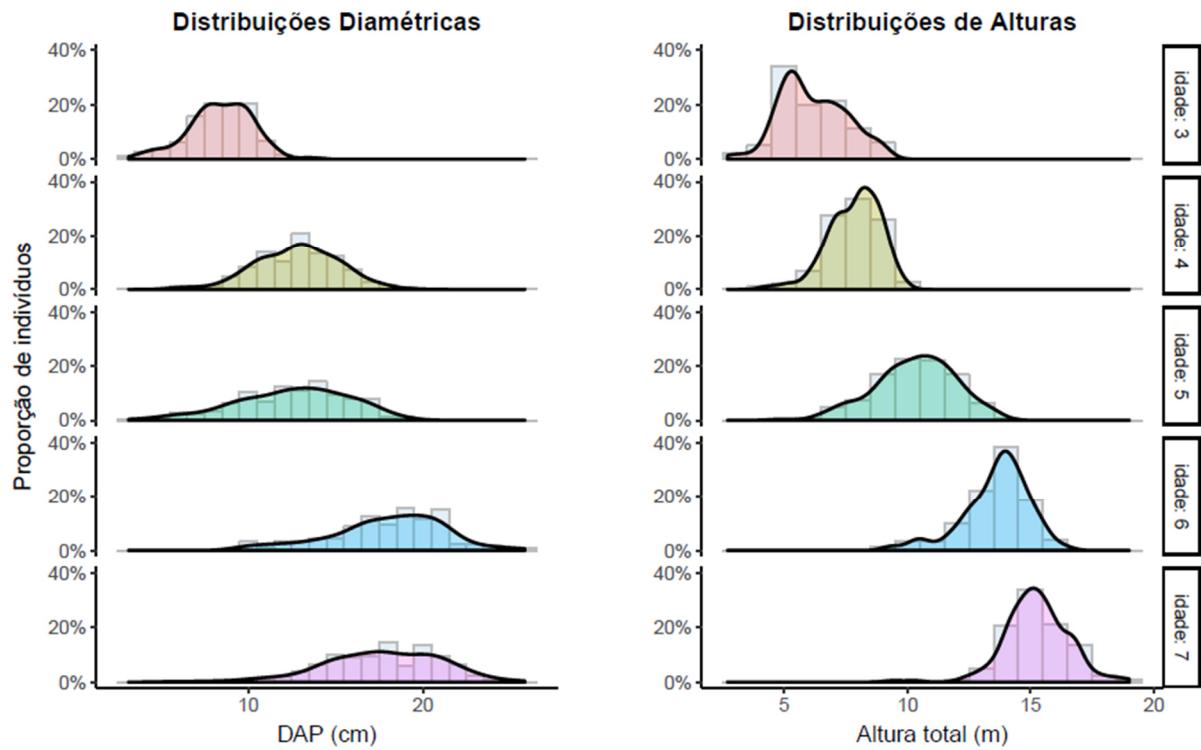
As estatísticas graficamente apresentadas sugerem semelhança na mediana do diâmetro à altura do peito entre os povoamentos de 4 e 5 anos e também entre as duas maiores idades analisadas. Esse comportamento sugere que povoamentos em idades diferentes com mesmo espaçamento inicial, tratos culturais e silviculturais podem apresentar semelhança no comportamento diamétrico. Para a variável altura total, foi possível verificar uma relação linear com a idade, em que a medida central de posição apresentou uma evidente tendência de aumento com o aumento da idade dos povoamentos, comportamento semelhante ao encontrado por Machado et al. (1994), avaliando indivíduos de *Pinus elliottii* com 4 a 12 anos de idade.

As demais variáveis apresentadas são reflexos das intervenções de poda realizadas nos anos anteriores. A dispersão da altura da base da copa verde em cada idade revela que os povoamentos seguiram as prescrições determinadas no regime de poda vigente, acompanhando o avanço da região podada no fuste com a idade vigente da floresta. A altura do segundo verticilo segue a mesma tendência de dispersão da variável anterior.

A estrutura horizontal de uma floresta fornece uma gama de informações amplamente aplicáveis na tomada de decisão no âmbito do manejo florestal. Segundo Van Laar e Akça (2007), a distribuição diamétrica é necessária para construir tabelas de produção, estimativas de volume total ou comercial e de uma ampla variedade de produtos. Além disso, pode-se realizar diversas inferências a respeito do desenvolvimento da floresta, quando relacionada com

a altura e idade das árvores. A Figura 10 demonstra a estrutura horizontal e vertical por idade das áreas de escopo da pesquisa.

Figura 10 - Estrutura horizontal e vertical das florestas avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A distribuição diamétrica pode ser influenciada por diversos fatores relacionados tanto à relação espécie e sítio, quanto às intervenções realizadas no manejo florestal e a mortalidade ocorrida durante o ciclo de produção. É possível destacar que, apesar de algumas idades apresentarem distribuições diamétricas semelhantes entre si, esse comportamento pode ser explicado pelos fatores mencionados anteriormente. Téo et al. (2011) avaliaram a distribuição diamétrica de povoamentos de cinco a doze anos, constatando que diferentes idades possuíam médias diamétricas semelhantes. Tal fato foi atribuído aos fatores genotípicos e sua interação com diferentes sítios.

Além disso, as alterações na estrutura diamétrica também podem ser relacionadas ao regime de poda aplicado no povoamento, uma vez que a severidade das intervenções pode afetar diretamente o incremento diamétrico (NIELSEN; PINKARD, 2003). Graficamente, é possível verificar que a variável altura total apresenta tendência positiva quando relacionada com a idade.

O núcleo nodoso de uma tora podada é constituído da dimensão diamétrica da região no momento da poda juntamente com o incremento necessário para sua oclusão (O'HARA, 2007). Dessa forma, a distribuição diamétrica possui relação direta com o aproveitamento da tora de

madeira livre de nós e sua aceitação no mercado. A altura total da árvore é um indicativo do potencial de retirada de copa baseando-se em indicações de mínima altura de copa do regime.

Portanto, os povoamentos analisados atestam a necessidade de verificação prévia da estrutura horizontal e vertical da floresta como requisito para tomada de decisões, uma vez que o fator idade de forma isolada não garante padrões que possam servir de base para um regime de poda que atenda pressupostos de minimização do núcleo nodoso.

Informações qualitativas de florestas jovens destinadas aos multiprodutos são fundamentais no planejamento das intervenções de poda. Em regimes de poda que preconizem a não realização de intervenção em indivíduos com determinadas características, pode-se inferir sobre o rendimento das operações, além de obter estimativas do número de árvores que são passíveis de intervenção no povoamento avaliado. A Tabela 7 demonstra a análise qualitativa dos povoamentos florestais avaliados.

Tabela 7 - Informações qualitativas observadas no levantamento.

Característica	Idade				
	3 Anos	4 Anos	5 Anos	6 Anos	7 Anos
Bifurcação	2%	2%	1%	8%	3%
Coroa de Galho	1%	6%	1%	1%	0%
Fox Tail	0%	1%	0%	0%	0%
Galho Fujão	0%	2%	1%	0%	0%
Normal	97%	85%	95%	86%	93%
Quebrada	0%	3%	1%	5%	4%
Tortuosa	0%	1%	1%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Baseando-se na amostragem realizada, os povoamentos com 4 e 6 anos de idade apresentaram as menores proporções de árvores normais, respectivamente com 15% e 14% de indivíduos com características indesejadas. O povoamento com 3 anos de idade apresentou maior proporção de árvores normais. De maneira geral, as quebras e bifurcações foram as características indesejáveis mais frequentes nos povoamentos analisados.

4.2 MODELAGEM DO PERFIL DO FUSTE

As equações ajustadas por meio de regressão linear tomaram como base os dados das árvores amostradas em cada um dos povoamentos. Sendo assim, as equações devem ser utilizadas para árvores de características similares, como localização, idade, material genético e sítio. Portanto, além das características supracitadas, a confiabilidade das estimativas é assegurada apenas em árvores que estiverem nos limites mínimos e máximos das variáveis dependentes utilizadas para o ajuste, evitando extrapolações. A Tabela 8 demonstra os valores das variáveis dependentes das árvores-amostra nas idades estudadas.

Tabela 8 - Caracterização de diâmetro à altura do peito e altura total por idade das árvores utilizadas nos ajustes.

Idade (anos)	Número de árvores	DAP (cm)			Altura total (m)		
		Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
3	20	5,5	9,8	14,0	5,0	6,1	7,9
4	28	6,0	13,0	19,0	5,2	8,1	10,2
5	21	7,5	14,6	20,0	7,3	9,8	11,5
6	20	10,0	18,2	26,0	8,3	12,3	15,3
7	20	7,0	17,2	26,0	10,4	14,7	18,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A seleção das árvores para a cubagem buscou garantir a cobertura de toda a distribuição diamétrica em cada uma das idades. O número de árvores cubadas obedeceu ao mínimo de 20 árvores estipulado, em algumas idades foram amostradas árvores além do mínimo devido à disponibilidade operacional no momento da coleta de dados.

Para cada idade, os modelos foram ajustados, testados e comparados com a finalidade de identificar a capacidade de representação do perfil do fuste de cada um deles. Os coeficientes encontrados nos ajustes podem ser verificados na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes dos modelos ajustados por idade.

Idade	Modelo	Coeficientes*					
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
3 Anos	Hradetzky	1,52057*	-9,9333*	9,96171*	-8,0011*	6,90302*	
		0,8	0,9	2,5	3		
	Schöepfer	1,43439*	-3,4154*	11,6724*	-29,895*	33,6857*	-13,214 ^{ns}
4 Anos	Kozak	1,86132*	-4,426*	2,86409*			
	Hradetzky	1,93334*	0,55557*	5,55864*	-6,2158*	-1,4112*	
		0,9	3	2,5	0,2		
5 Anos	Schöepfer	1,35527*	-3,5667*	13,2839*	-32,149*	33,7789*	-12,329*
	Kozak	1,61521*	-3,6366*	2,23546*			
	Hradetzky	0,8249*	0,53326*	-0,0002*	-3,2659*	0,01634*	2,12259*
6 Anos		0,9	-2	2	-1	3	
	Schöepfer	1,26373*	-3,6952*	15,7249*	-38,72*	41,1947*	-15,656*
	Kozak	1,35944*	-2,7911*	1,53358*			
7 Anos	Hradetzky	1,00851*	-3,1018*	0,00583*	-0,00004*	2,15053*	
		1,1	-1	-2	1		
	Schöepfer	1,24746*	-3,0717*	11,9517*	-27,678*	27,317*	-9,5912*
7 Anos	Kozak	1,35907*	-2,4867*	1,16902*			
	Hradetzky	1,10049*	-0,648*	-1,4698*	1,17178*	0,00222*	
		0,9	2,5	3	-1		
7 Anos	Schöepfer	1,27094*	-3,5061*	14,5852*	-34,71*	35,8003*	-13,296*
	Kozak	1,3844*	-2,6471*	1,36504*			

Os valores das potências utilizadas no modelo de Hradetzky para cada idade estão representadas em itálico na linha abaixo de seu respectivo coeficiente. Os indicativos * e ns representam a significância de cada variável no modelo (95% de probabilidade de confiança).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As oscilações nos coeficientes nas diferentes idades sugerem que existem diferenças entre o perfil do fuste das árvores. Com relação aos ajustes do modelo de potências fracionárias de Hradetzky, a seleção das potências por meio do procedimento de *stepwise* não apresentou diferenças expressivas com relação ao número de potências selecionadas. No entanto, as potências significativas para cada idade foram diferentes, adequando-se ao decréscimo de diâmetro ao longo da altura das árvores específico para cada idade.

A Tabela 10 apresenta as estatísticas de ajuste e precisão dos modelos por idade. Observa-se que grau de explicabilidade da variável dependente pelas independentes se mostrou satisfatório para todos os modelos em todas as idades. De maneira geral, as estatísticas de ajuste demonstraram inferioridade do modelo de Kozak para todas as idades. Esse modelo, por ser um polinômio de segundo grau, apresenta pouca flexibilidade. Segundo Yoshitani Junior et al. (2012), o modelo de Kozak não possui capacidade de descrever as extremidades da árvore, confirmando sua inferioridade com relação aos demais modelos testados.

Tabela 10 - Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos por idade.

Idade	Modelo	R²	R² ajustado	S_{yx} (cm)	S_{yx} (%)
3 Anos	Hradetzky*	0,915	0,914	0,8	10,0
	Schöepfer	0,915	0,914	0,8	10,1
	Kozak	0,910	0,910	0,9	10,4
4 Anos	Hradetzky*	0,934	0,933	1,1	10,0
	Schöepfer	0,934	0,933	1,1	10,1
	Kozak	0,928	0,927	1,2	10,6
5 Anos	Hradetzky*	0,933	0,932	1,0	9,4
	Schöepfer	0,933	0,932	1,0	9,5
	Kozak	0,924	0,924	1,1	10,0
6 Anos	Hradetzky*	0,952	0,952	1,1	8,1
	Schöepfer	0,952	0,951	1,2	8,2
	Kozak	0,945	0,945	1,3	8,7
7 Anos	Hradetzky*	0,961	0,961	1,1	8,0
	Schöepfer	0,961	0,961	1,2	8,1
	Kozak	0,952	0,952	1,3	8,9

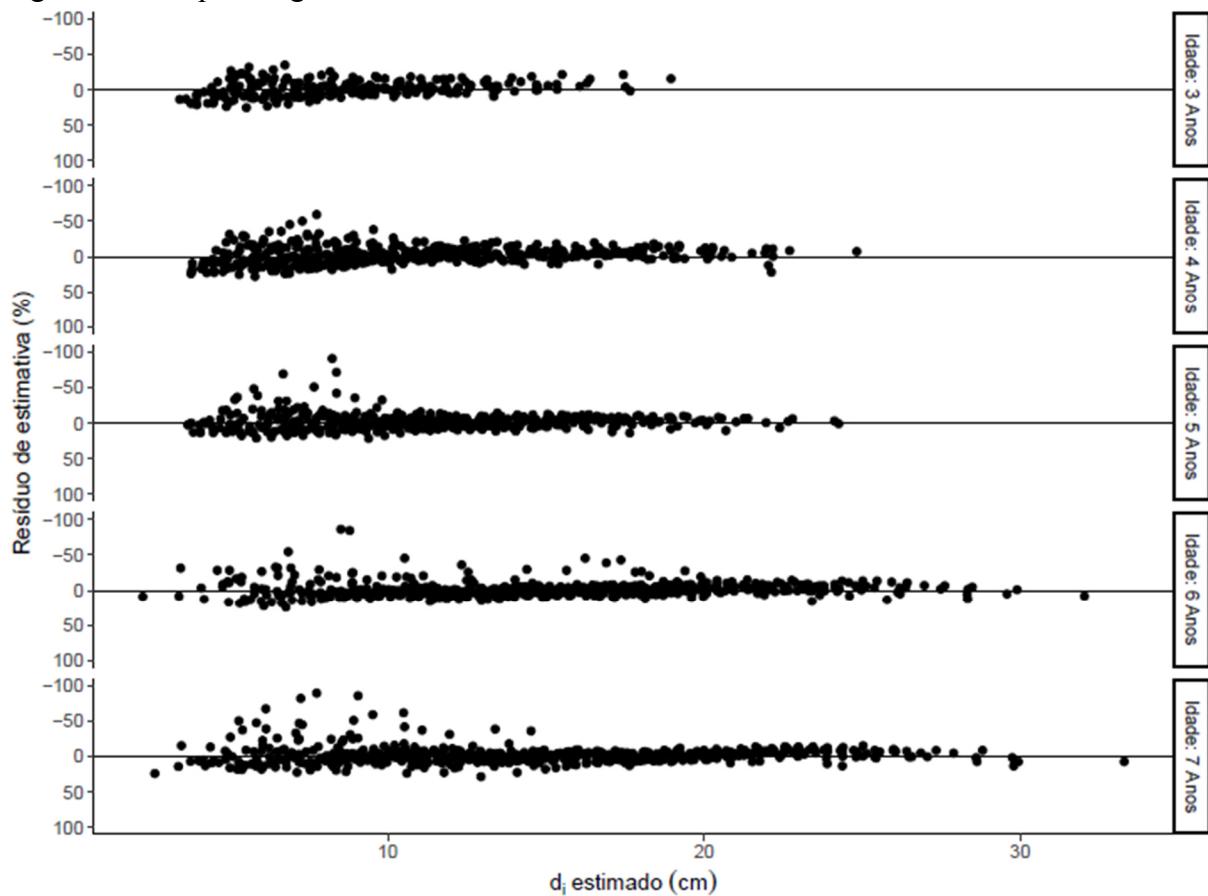
*: modelo selecionado em cada idade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Com relação à precisão dos ajustes, o modelo de Kozak apresentou erro padrão da estimativa superior aos demais. Esse fato é reflexo de sua dificuldade em descrever o perfil do fuste das árvores. Os modelos de Schöepfer e Hradetzky apresentaram resultados semelhantes entre si. Apesar da diferença ser mínima, o modelo de Hradetzky apresentou os menores valores de erro padrão da estimativa em todos os casos.

Ante ao exposto, as estatísticas de ajuste e precisão supracitadas demonstraram que o modelo de Hradetzky apresenta maior capacidade de representar o perfil do fuste em todas as idades. A leve superioridade em relação ao modelo de Schöepfer se deve ao fato do modelo selecionar as potências que melhor se ajustam ao perfil do fuste de cada conjunto de dados. Assim, o modelo adaptou-se de forma mais acurada a cada uma das situações propostas. A Figura 11 demonstra a precisão relativa das estimativas do modelo selecionado por idade.

Figura 11 - Dispersão gráfica dos resíduos de estimativa dos modelos selecionados.



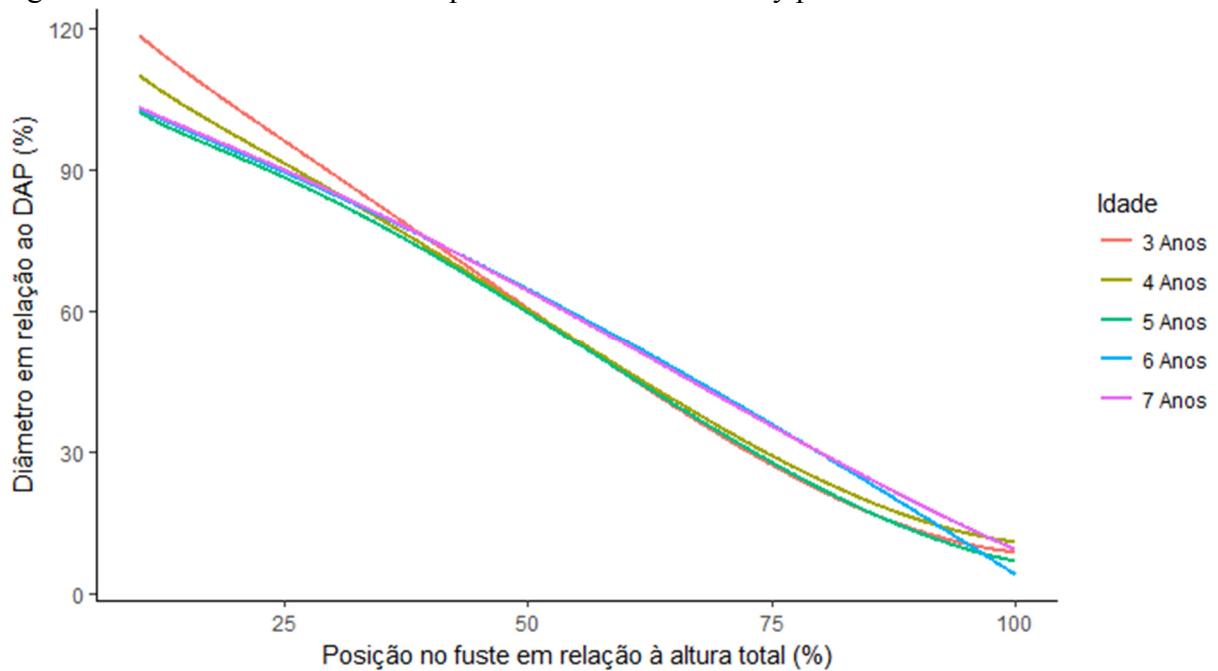
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

De maneira geral, a dispersão relativa dos erros de estimativa demonstrou que as equações de afilamento apresentaram maior dificuldade na estimativa dos menores diâmetros da árvore. No entanto, conforme aumenta-se o diâmetro da região estimada houve uma tendência a redução dos erros. O ajuste das funções de afilamento, no presente contexto, tem como principal objetivo a estimativa do diâmetro do fuste das árvores na região de escopo das operações de poda em cada idade, operando na faixa de diâmetro entre 10 cm e 20 cm.

A representação do perfil do fuste das árvores permite a realização de inúmeras inferências. O conhecimento da dinâmica do crescimento radial ao longo da altura da árvore e suas variações com o avanço da idade dos povoamentos podem auxiliar no planejamento das

intervenções na floresta. A Figura 12 demonstra a representação gráfica da dinâmica do perfil do fuste nos povoamentos estudados.

Figura 12 - Perfil do fuste descrito pelo modelo de Hradetzky por idade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

É possível verificar uma diminuição na conicidade com o avanço da idade das árvores. Essa tendência, além do comportamento natural da espécie, pode ser um reflexo das intervenções de poda realizadas ao longo do ciclo. Uma vez que a poda altera as condições de crescimento ao longo do fuste e pode tornar a árvore mais cilíndrica (O'HARA, 1991; MÄKINEN et al., 2014), apesar desse comportamento não ter sido detectado por Seitz (1995).

Diante da base de informações estruturada, torna-se possível gerar estimativas diamétricas em qualquer altura no fuste das árvores e, com isso, gerar relações e informações que fomentem os critérios técnicos que são escopo do estudo.

4.3 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E RELAÇÕES BIOMÉTRICAS

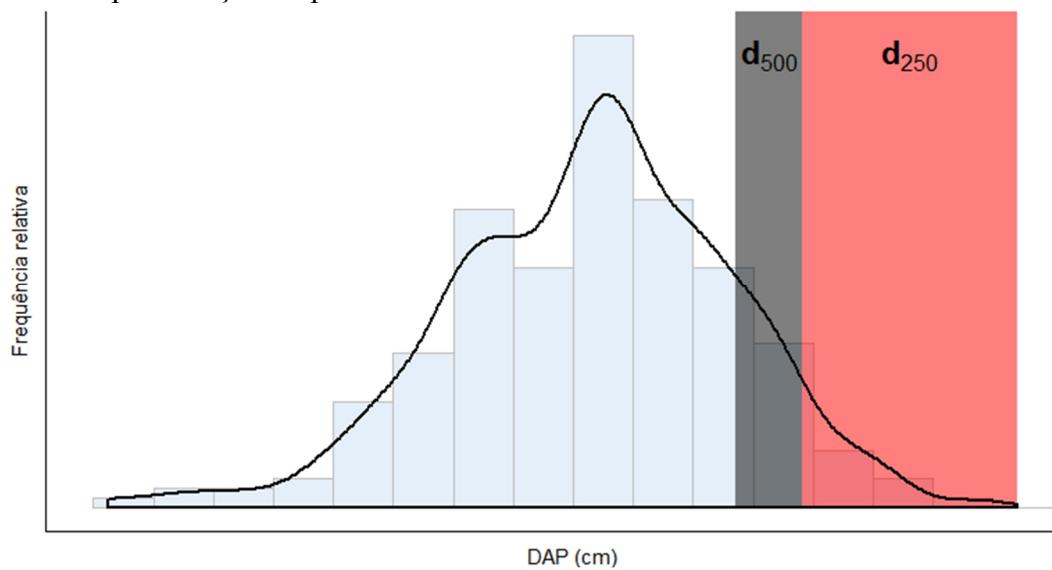
4.3.1 Diâmetros dominantes

A estrutura diamétrica dos povoamentos pode ser uma fonte de informação de grande valia para fomentar decisões no âmbito do planejamento florestal. A aplicação de variantes ao diâmetro de Assman com um maior número de árvores é justificada pela dinâmica de desenvolvimento de indivíduos jovens. Além de fatores qualitativos como quebra, bifurcações, fatores fitopatogênicos, uma proporção dos indivíduos pode perder a dominância no povoamento ao longo do tempo. Dobner Jr. (2013) sugere que a seleção de árvores-futuro nas

intervenções ao longo do ciclo de produção deve considerar uma margem de segurança, selecionando, por exemplo, o dobro de árvores pretendidas para o corte raso, de forma a garantir que haverá o número necessário ao final do ciclo. O autor relatou ainda que quanto mais cedo, mais incerta a seleção de árvores-futuro.

Ressalta-se que a análise desses indicadores objetiva a representação dimensional das árvores que possivelmente permanecerão após o segundo desbaste, referenciado pela densidade média prevista pelo plano de manejo dos projetos em questão (Figura 13).

Figura 13 - Representação do posicionamento dos indicadores de diâmetro dominante.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

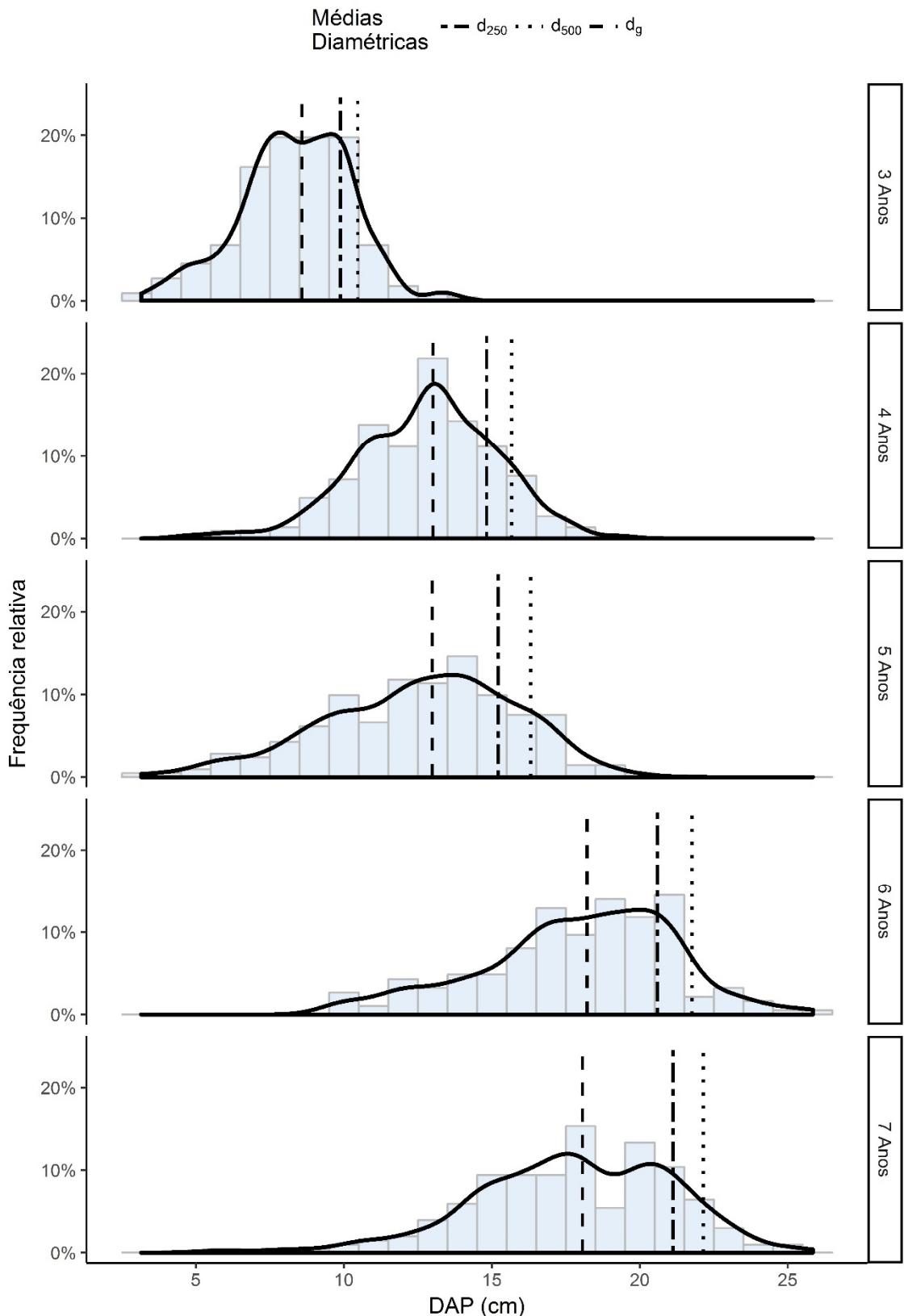
As superfícies destacadas demonstram a região de abrangência de cada indicador diamétrico. O indicador d_{500} refere-se aos possíveis indivíduos que permanecerão após o segundo desbaste. Já o indicador d_{250} faz referência às possíveis árvores que ficarão presentes durante todo o ciclo até o corte final.

Esses indicadores baseiam-se apenas no diâmetro das árvores, não contemplando demais questões qualitativas que possam ocorrer ao longo do ciclo como bifurcações, quebras de copa e mortalidade. A previsão de ocorrência de aspectos qualitativos ao longo de um ciclo de 25 anos é de extrema dificuldade em função das causas de ocorrência serem tanto ambientais quanto genéticas. Dessa forma, a utilização de características quantitativas se torna válida para definir as árvores que possivelmente permanecerão em desenvolvimento nos projetos florestais para produção de madeira livre de imperfeições em escala comercial.

A definição desses indicadores é importante para que os regimes de poda sejam planejados de forma que as intervenções possam ser realizadas no período em que minimize o

núcleo nodoso dessas árvores. A Figura 14 demonstra o posicionamento dos indicadores de diâmetro dominante na distribuição diamétrica por idade.

Figura 14 - Representação das médias diamétricas por idade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Percebe-se, em todos os casos, que os indicadores estão situados a direita da distribuição, distantes do diâmetro médio quadrático (d_g), que está posicionado próximo a região central das distribuições.

Ao analisar visualmente a curtose das distribuições, que significa o grau de achatamento de uma distribuição em relação à distribuição Normal (Machado et al., 2006), pode-se perceber que quanto mais platicúrtica a distribuição diamétrica maior é a amplitude diamétrica do povoamento e, consequentemente, maior é a distância entre os indicadores. O inverso é verdadeiro para distribuições que se classificam como leptocúrticas.

Avaliando o posicionamento do indicador tradicional d_{100} , percebe-se que esse indicador realmente representa poucos indivíduos na distribuição, uma vez que se situa próximo à extremidade positiva. Dessa forma, a aplicação das variantes do diâmetro de Assman, nesse caso d_{250} e d_{500} tornam-se válidas para representar os indicadores diamétricos que venham a compor critérios técnicos que auxiliem na tomada de decisão das intervenções de poda. Cabe ressaltar que os valores de 250 e 500 árvores mais grossas por hectare tem relação com o plano de manejo dos povoamentos estudados. Portanto, caso essas recomendações forem utilizadas em outros povoamentos, deve-se observar as diretrizes de manejo dos mesmos, os indicadores tomarão como base a previsão do número de árvores que permaneceram a partir de determinado momento no ciclo.

4.3.2 Espaçamento entre verticilos

Diante do método proposto, a correlação entre as demais variáveis do levantamento de inventário florestal e o espaçamento entre verticilos foi verificada (Tabela 11).

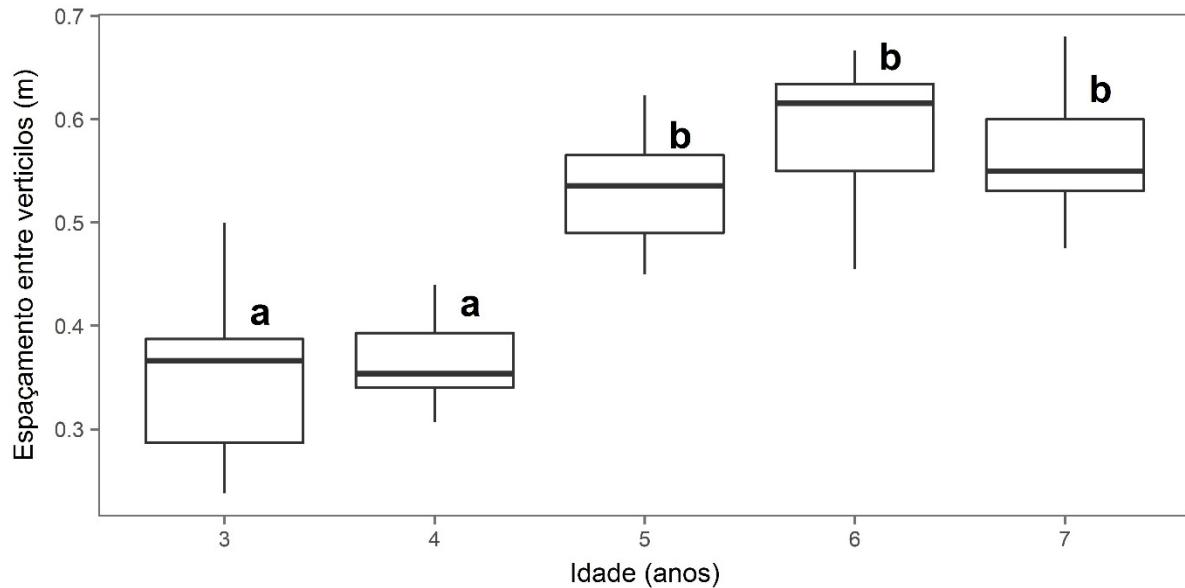
Tabela 11 - Correlação de Pearson do espaçamento entre verticilos (e_v) com as demais variáveis do inventário florestal.

	h_t	h_{bv}	h_{2v}	DAP	Idade
Espaçamento entre verticilos	0,423	0,385	0,465	0,333	0,470

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A variável em questão apresentou correlação positiva com as demais variáveis mensuradas no inventário florestal, isso representa que há uma tendência crescente entre as mesmas. A idade do povoamento apresentou a maior correlação com o espaçamento entre verticilos, para visualizar de forma mais detalhada o comportamento dessa variável em função da idade das árvores a Figura 15 representa a relação na forma de *boxplot*.

Figura 15 - Diagrama de caixas do espaçamento entre venticulos por idade.



*Idades com letras iguais não diferem estatisticamente a 95% de probabilidade de confiança.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As análises estatísticas sugerem semelhança entre os indivíduos de 3 e 4 anos, não apresentando diferença significativa entre as médias. As árvores de 5, 6 e 7 anos diferiram das demais e apresentaram similaridade entre si. Em suma, as idades mais avançadas apresentaram um espaçamento maior entre venticulos, quando comparada com as idades mais juvenis. Indica que a remoção de um galho a mais implica em um aumento do segmento podado de 0,3 – 0,4 m para 3 e 4 anos e 0,5 – 0,6 m para idades de 5 a 7 anos.

4.4 REGIMES DE PODA

Diante da compilação de todos os indicadores e pressuposições, conforme análise prévia criteriosamente realizada, foi possível realizar um panorama da situação do regime de poda atual e também pontuar questões que verificadas baseando-se na análise quantitativa dos povoamentos estudados.

Ressalta-se que foram selecionados 5 povoamentos distintos com idades que contemplavam cada uma das intervenções de poda realizadas no regime atual. Dessa forma, cada idade foi avaliada separadamente.

4.4.1 Análise do povoamento com 3 anos de idade (1^a Poda)

O povoamento com 3 anos de idade passou pela primeira intervenção de poda do regime vigente, na qual ocorreu a retirada de galhos até 1,5 metros de altura da árvore. A Tabela 12 apresenta o diâmetro à altura do peito, a altura total e fração do fuste passível de ser podada em função da pressuposição do mínimo comprimento de copa remanescente (4 m) e do espaçamento entre venticulos.

Tabela 12 - Dimensões das árvores indicadoras d_g , d_{500} e d_{250} para o povoamento de 3 anos de idade.

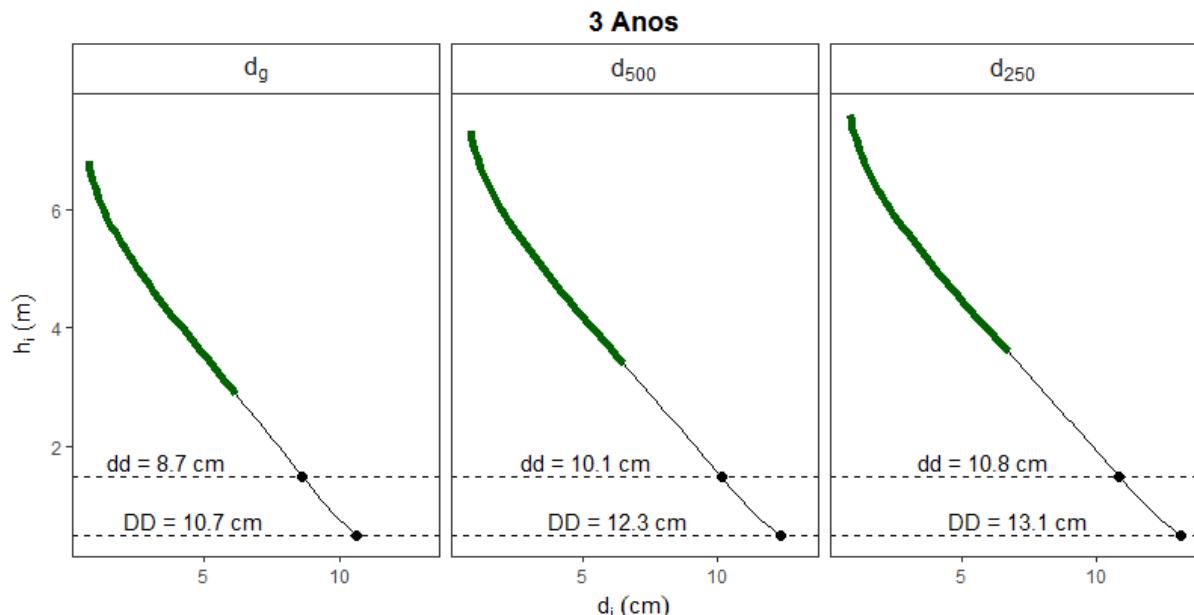
Indicador	DAP (cm)	h (m)	h_p (m)	Δ (m)
d_g	8,6	6,9	2,7	1,2
d_{500}	9,8	7,4	3,2	1,7
d_{250}	10,5	7,6	3,4	1,9

Sendo: d_g : diâmetro médio quadrático; d_{500} : diâmetro das 500 árvores mais grossas em um hectare; d_{250} : diâmetro das 250 árvores mais grossas em um hectare; DAP: diâmetro à altura do peito; h: altura total; h_p : região do fuste passível de poda; Δ : variação entre a região podada e a região passível de ser podada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Existe uma variação de aproximadamente 1 metro de altura entre as árvores médias do povoamento (d_g) e as árvores dominantes (d_{250}), resultando, consequentemente, em uma capacidade de poda das árvores médias para 2,7 m e das árvores dominantes 3,2 metros. Considerando esses valores, há um aumento potencial de no mínimo 1 metro de poda, atingindo a prescrição realizada para a segunda poda do regime vigente (2,8 m). A Figura 16 demonstra a dinâmica do diâmetro ao longo do fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos.

Figura 16 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 3 anos.



Sendo: dd: diâmetro de mínimo núcleo nodoso da intervenção; DD: diâmetro de máximo núcleo nodoso da intervenção. As linhas tracejadas representam a região do fuste correspondente à retirada de galhos da primeira poda do regime atual (0 m – 1,5 m). O trecho da linha contínua destacada em verde representa o mínimo de copa pressuposto.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Segundo a exposição gráfica do perfil do fuste das árvores correspondente aos indicadores de dominância diamétrica, pode-se perceber que os indivíduos médios

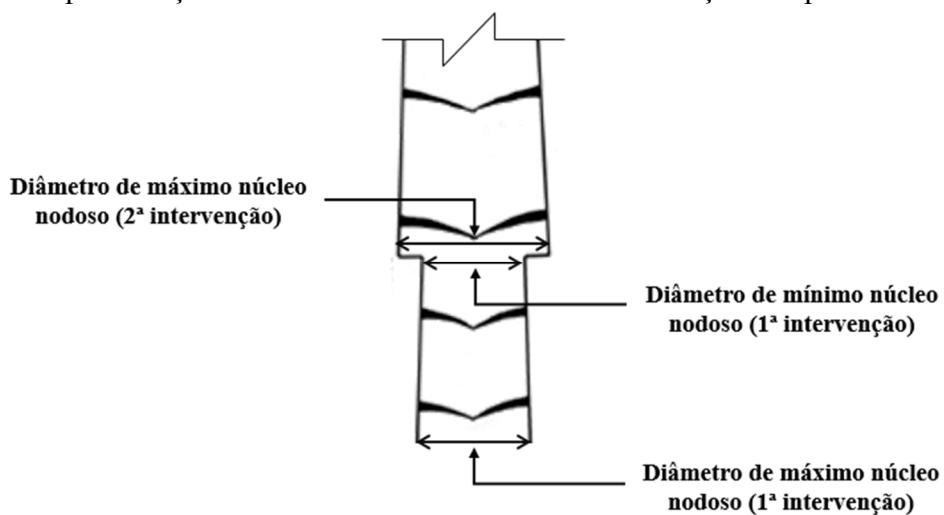
apresentaram um diâmetro de máximo núcleo nodoso próximo a 10 cm. No entanto, para as árvores d_{500} e d_{250} , as que realmente interessam, a mesma variável apresentou um valor superior, sendo 12,3 cm e 13,1 cm, respectivamente.

O diâmetro de máximo núcleo nodoso, quando somado com a seção de cicatrização e compõe o núcleo defeituoso da tora, tem relação com a proporção de madeira livre de nós em uma tora. O aproveitamento comercial do produto gerado é maior, quanto maior for a proporção de madeira livre de nós em uma tora.

Essa relação possui variação em função da dimensão do núcleo nodoso, definido pelo momento de realização da poda, e da dimensão da tora no momento do corte, definido pelo tempo de rotação do povoamento. Schoelzke (2003 apud CARDOSO, 2009) sugeriu que a proporção ideal de madeira livre de nós seria de aproximadamente dois terços da tora. Considerando essa relação, as árvores d_{250} devem ser colhidas apenas quando o diâmetro da ponta fina da tora atingir valores superiores a 40 cm. Stohr, Emerciano e Faber (1982 apud CARDOSO, 2009) definiram uma regra geral que a tora deveria ser podada quando o diâmetro de máximo núcleo nodoso da região a ser podada chegassem no máximo a 13 cm.

Quanto ao diâmetro de mínimo núcleo nodoso de uma intervenção de poda, cabe avaliação caso houver previsão de intervenções de poda posteriores à atual intervenção. Essa avaliação torna-se importante para que se tenha uma previsão de incremento dessa variável, pois se o incremento antes da próxima intervenção atingir valores superiores ao diâmetro de máximo núcleo nodoso da primeira intervenção (Figura 17), haverá um aumento no cilindro projetado com presença de nós, prejudicando a qualidade da tora produzida.

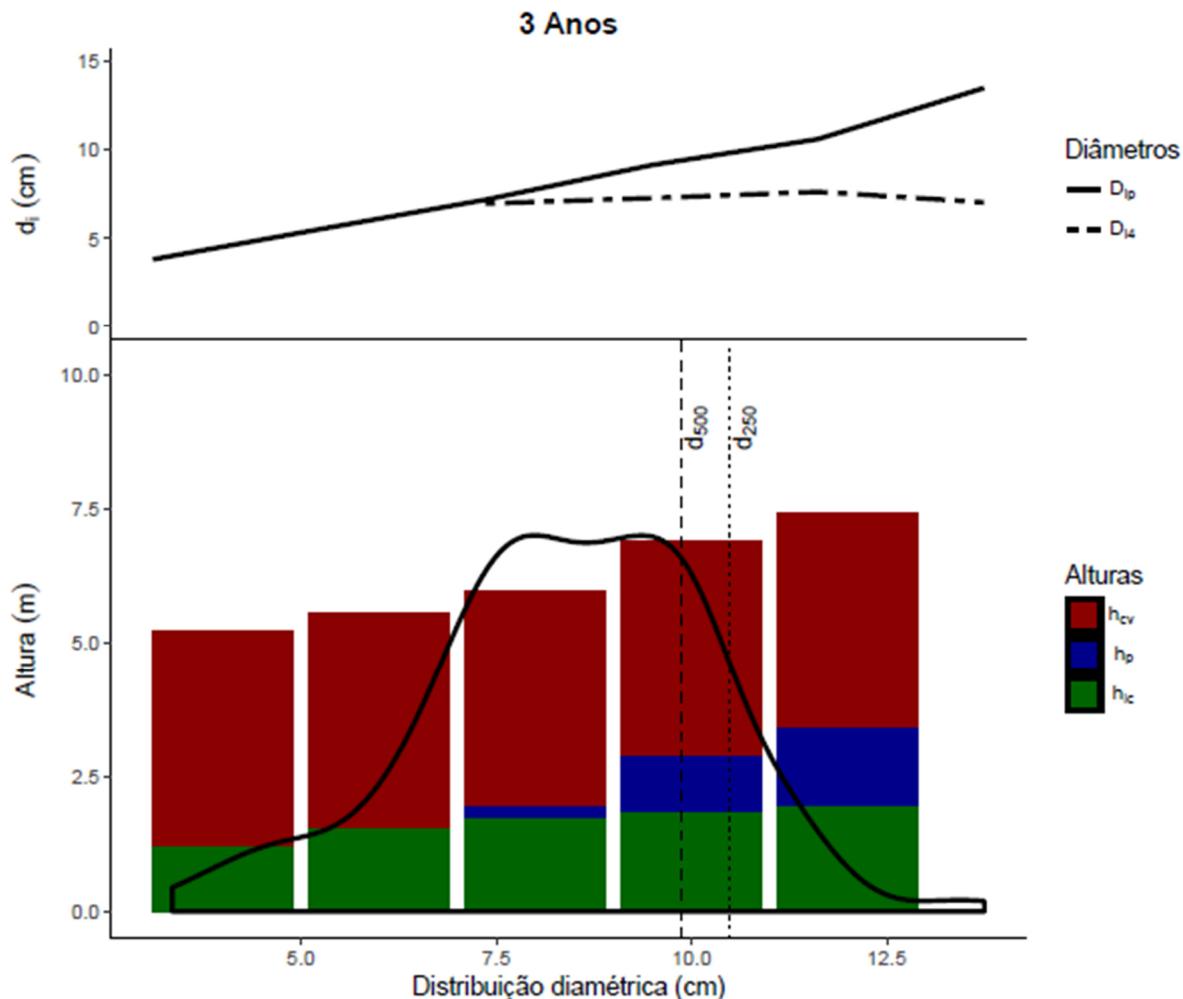
Figura 17 - Representação do núcleo nodoso entre duas intervenções de poda.



Fonte: O'HARA (2007), adaptado pelo autor, 2018.

A Figura 18 demonstra um panorama da primeira poda no povoamento com 3 anos de idade.

Figura 18 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 3 anos de idade.



Sendo: d_i : diâmetro na posição i do fuste; D_{ip} : diâmetro na posição de início da copa; D_{14} : diâmetro na posição em que restariam 4 metros de copa remanescente; h_{cv} : altura de copa viva; h_p : fração do fuste passível de poda; h_{ic} : altura de início da copa.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os elementos gráficos demonstram as variáveis relacionadas à altura da árvore e também aos diâmetros ao longo do fuste da mesma em função da distribuição diamétrica do povoamento.

Observando a região do gráfico de colunas empilhadas, a altura de copa viva (h_{cv}) foi determinada com base na pressuposição de 4 metros de copa remanescente. A altura de início da copa (h_{ic}) representada pelas colunas verdes demonstra a altura em que a árvore foi podada, o diâmetro na posição dessa altura está representado pela linha contínua do gráfico superior (D_{ip}). A coluna azul representa a altura passível de ser podada (h_p) para atingir o limite de copa

remanescente pressuposto, o diâmetro representado pela linha tracejada na parte superior do gráfico (D_{i4}) demonstra a dimensão diamétrica na altura da árvore que mantenha 4 metros de copa remanescente. A curva de densidade normal cortada pelas linhas tracejadas verticais que representam a faixa de representatividade dos diâmetros dominantes.

Para o povoamento com 3 anos de idade pode-se verificar que as árvores inferiores à média diamétrica estão podadas adequadamente, seguindo uma amplitude diamétrica na região podada inferior a 10 cm. No entanto, as árvores dominantes apresentam um potencial de aumento na altura de poda. O referido aumento reflete diretamente na redução do diâmetro podado e, por consequência, no diâmetro do núcleo defeituoso.

Em suma, povoamento seguiu a prescrição de intervenção do regime de poda padrão para a idade, que é de 1,5 metros de altura de poda. No entanto, pode-se perceber que as árvores d_{500} e, principalmente, d_{250} suportariam uma retirada maior de copa, com base na pressuposição de 4 metros copa remanescente.

4.4.2 Análise do povoamento com 4 anos de idade (2^a Poda)

O povoamento com 4 anos de idade passou pela segunda intervenção de poda, que consiste na retirada de galhos até 2,8 metros de altura. As dimensões das árvores correspondentes aos indicadores de dominância diamétrica estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 - Dimensões das árvores indicadoras d_g , d_{500} e d_{250} para o povoamento de 4 anos de idade.

Indicador	DAP (cm)	h (m)	h_p (m)	Δ (m)
d_g	13,0	8,5	4,2	1,4
d_{500}	14,6	8,7	4,4	1,6
d_{250}	15,5	8,9	4,6	1,8

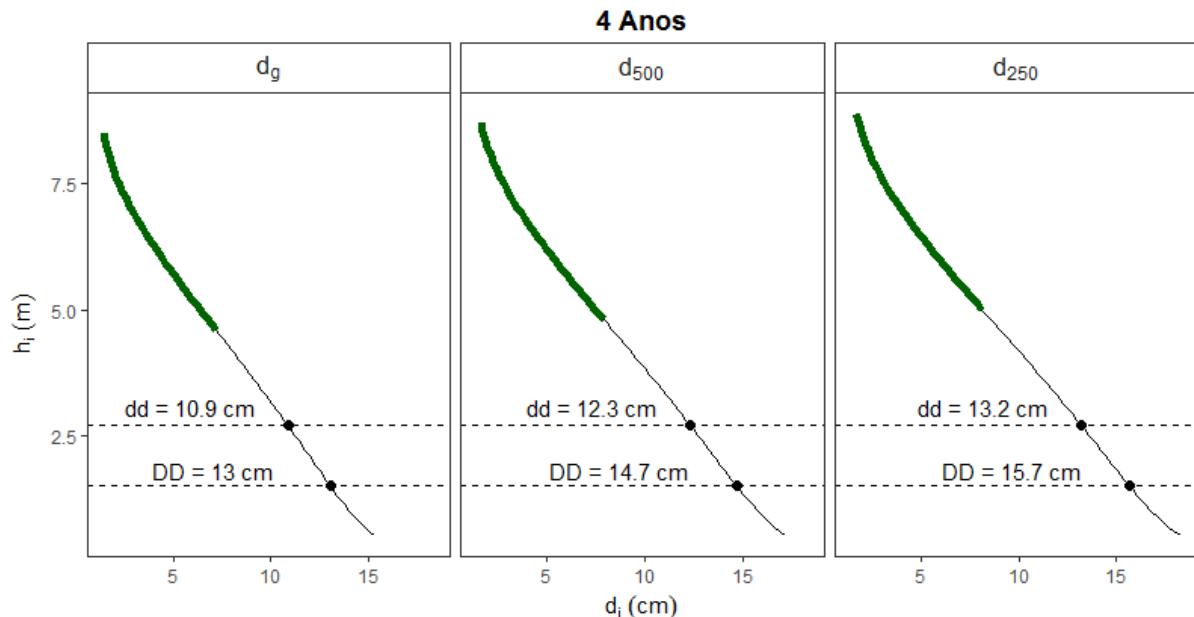
Sendo: d_g : diâmetro médio quadrático; d_{500} : diâmetro das 500 árvores mais grossas em um hectare; d_{250} : diâmetro das 250 árvores mais grossas em um hectare; DAP: diâmetro à altura do peito; h: altura total; h_p : região do fuste passível de poda; Δ : variação entre a região podada e a região passível de ser podada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O diâmetro à altura do peito das árvores d_{250} foi 2,5 centímetros superior à árvore d_g , variação similar à encontrada no povoamento de 3 anos. Em contrapartida, variação de altura entre os indicadores foi submétrica, apresentando uma maior homogeneidade em altura quando comparado com o povoamento anterior.

A região do fuste passível de poda nesse povoamento foi 1,6 metros superior em relação à altura de poda padrão para a idade em todos os casos. A Figura 19 apresenta a dinâmica do diâmetro em relação à altura das árvores correspondentes aos indicadores de dominância diamétrica.

Figura 19 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 4 anos.



Sendo: dd: diâmetro de mínimo núcleo nodoso da intervenção; DD: diâmetro de máximo núcleo nodoso da intervenção. As linhas tracejadas representam a região do fuste correspondente à retirada de galhos da segunda poda do regime atual (1,5 m – 2,8 m). O trecho da linha contínua destacada em verde representa o mínimo de copa pressuposto.

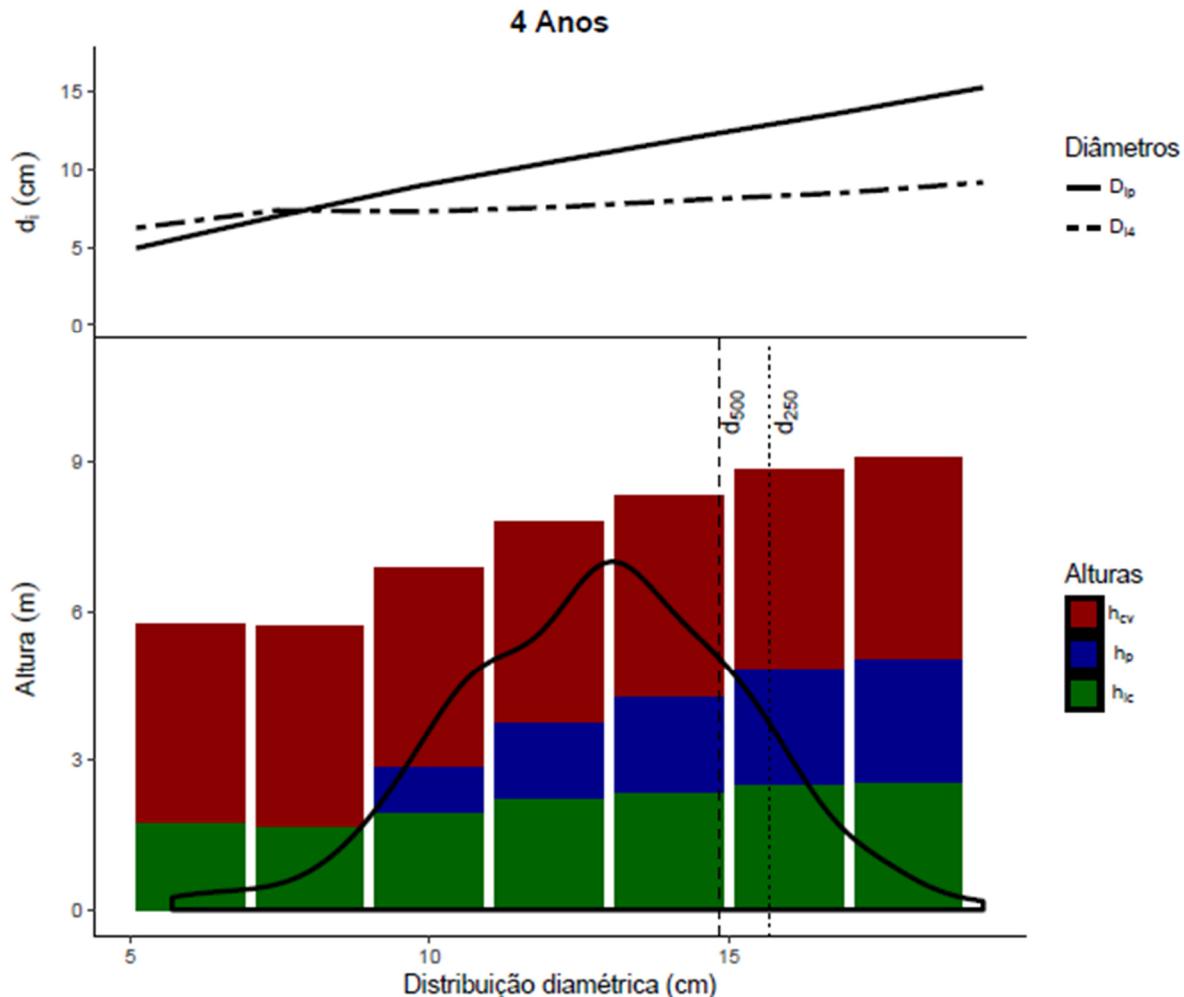
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A representação gráfica demonstra que há uma diferença média de aproximadamente 2 centímetros entre o diâmetro de máximo núcleo nodoso e o diâmetro de mínimo núcleo nodoso da segunda intervenção de poda.

O diâmetro de máximo núcleo nodoso das árvores foi superior às prescrições citadas anteriormente, apenas a árvore correspondente ao indicador d_g ficou no limite de 13 cm. No entanto, as árvores que permaneceriam após o segundo desbaste e no corte raso, segundo o plano de manejo do povoamento estudado, apresentaram valores superiores. No caso do indicador d_{250} , que se refere às árvores que potencialmente permaneceriam para o corte final, o corte de galhos na base da região podada correspondente à essa intervenção foi realizado no momento em que as árvores se aproximavam dos 16 cm de diâmetro. Os valores podem ser considerados elevados, uma vez que se trata da região correspondente à primeira tora da árvore, se levado em consideração toras de 2,6 m de comprimento.

A Figura 20 demonstra o panorama para o povoamento com 4 anos de idade.

Figura 20 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 4 anos de idade.



Sendo: d_i : diâmetro na posição i do fuste; D_{ip} : diâmetro na posição de início da copa; D_{14} : diâmetro na posição em que restariam 4 metros de copa remanescente; h_{cv} : altura de copa viva; h_p : fração do fuste passível de poda; h_{ic} : altura de início da copa.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Com uma amplitude diamétrica discretamente superior ao povoamento de 3 anos de idade, nota-se que as árvores dominadas, referentes a cauda esquerda da curva normal foram podadas além da pressuposição de 4 metros de copa remanescente. Para as demais árvores do povoamento, há um potencial de elevação da poda de pelo menos um metro em todas as árvores e ainda maiores quanto maior for seu diâmetro.

A análise dimensional dos indivíduos em função de sua posição na estrutura horizontal da floresta revela um potencial de elevação na retirada de galhos nas árvores com maior probabilidade de permanecer durante todo o ciclo.

4.4.3 Análise do povoamento com 5 anos de idade (3^a Poda)

Conforme o procedimento padrão do regime de poda vigente nos povoamentos, a floresta com 5 anos de idade deve ter os galhos de seus indivíduos removidos até a altura de 3,8 m. A Tabela 14 demonstra as dimensões das árvores representantes dos indicadores diamétricos do povoamento em questão.

Tabela 14 - Dimensões das árvores indicadoras d_g , d_{500} e d_{250} para o povoamento de 5 anos de idade.

Indicador	DAP (cm)	h (m)	h_p (m)	Δ (m)
d_g	12,9	11,1	6,7	2,9
d_{500}	15,2	11,3	6,9	3,1
d_{250}	16,3	11,4	7,0	3,2

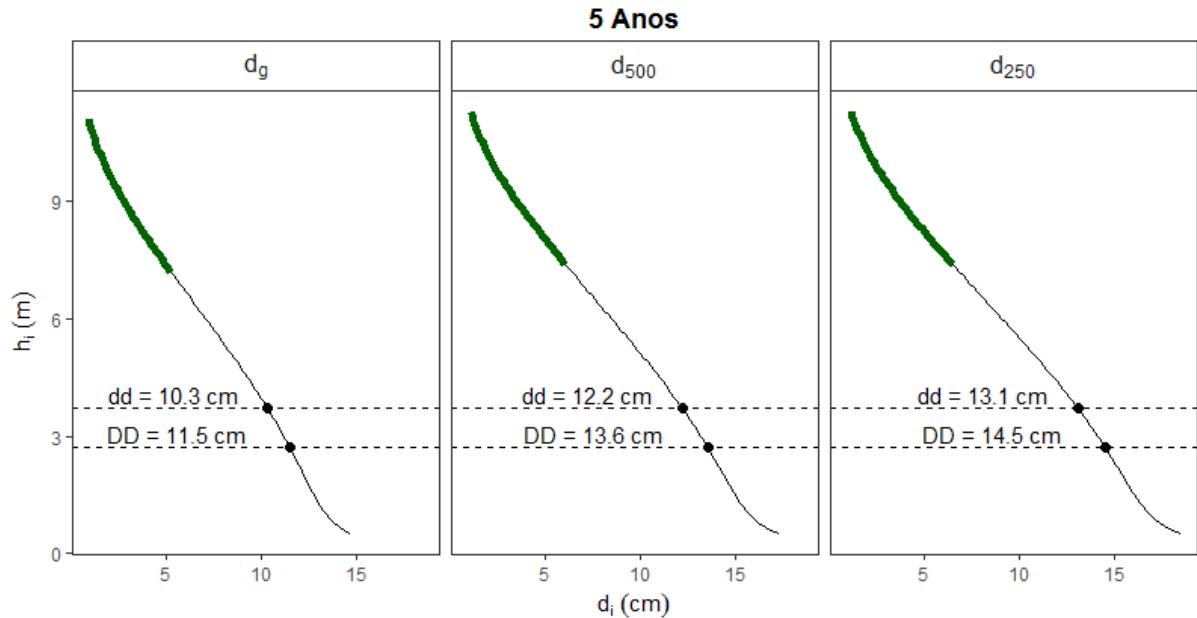
Sendo: d_g : diâmetro médio quadrático; d_{500} : diâmetro das 500 árvores mais grossas em um hectare; d_{250} : diâmetro das 250 árvores mais grossas em um hectare; DAP: diâmetro à altura do peito; h: altura total; h_p : região do fuste passível de poda; Δ : variação entre a região podada e a região passível de ser podada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Percebe-se uma diferença de 3 centímetros de diâmetro entre a árvore de diâmetro médio e a árvore d_{250} . Essa diferença sugere que a distribuição diamétrica desse povoamento apresenta uma amplitude maior, demonstrando maior heterogeneidade dimensional entre os indivíduos. A altura total dos indicadores apresentou diferenças inferiores a 0,3 m, demonstrando homogeneidade. Esse comportamento, além de outras vantagens, é operacionalmente desejável nos povoamentos, uma vez que a elevação potencial da poda dessas árvores é aproximadamente igual.

Os indicadores numéricos demonstram que, apesar do procedimento padrão indicar uma poda até 3,8 metros, as árvores suportariam um potencial de elevação de fuste podado até 7 metros, valor que ultrapassa os 5,8 m previstos no regime. Esse valor é superior ao limite da última intervenção do regime, indicando que esse povoamento teria capacidade de finalizar o regime de poda aos 5 anos, considerando a pressuposição de copa remanescente mínima de 4 metros, tornando desnecessárias as intervenções posteriores. A Figura 21 demonstra o decréscimo de diâmetro em relação a sua posição no fuste das árvores e um destaque para o diâmetro das extremidades da região podada pelo regime atual para a idade em questão.

Figura 21 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 5 anos.



Sendo: dd: diâmetro de mínimo núcleo nodoso da intervenção; DD: diâmetro de máximo núcleo nodoso da intervenção. As linhas tracejadas representam a região do fuste correspondente à retirada de galhos da terceira poda do regime atual (2,8 m – 3,8 m). O trecho da linha contínua destacada em verde representa o mínimo de copa pressuposto.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

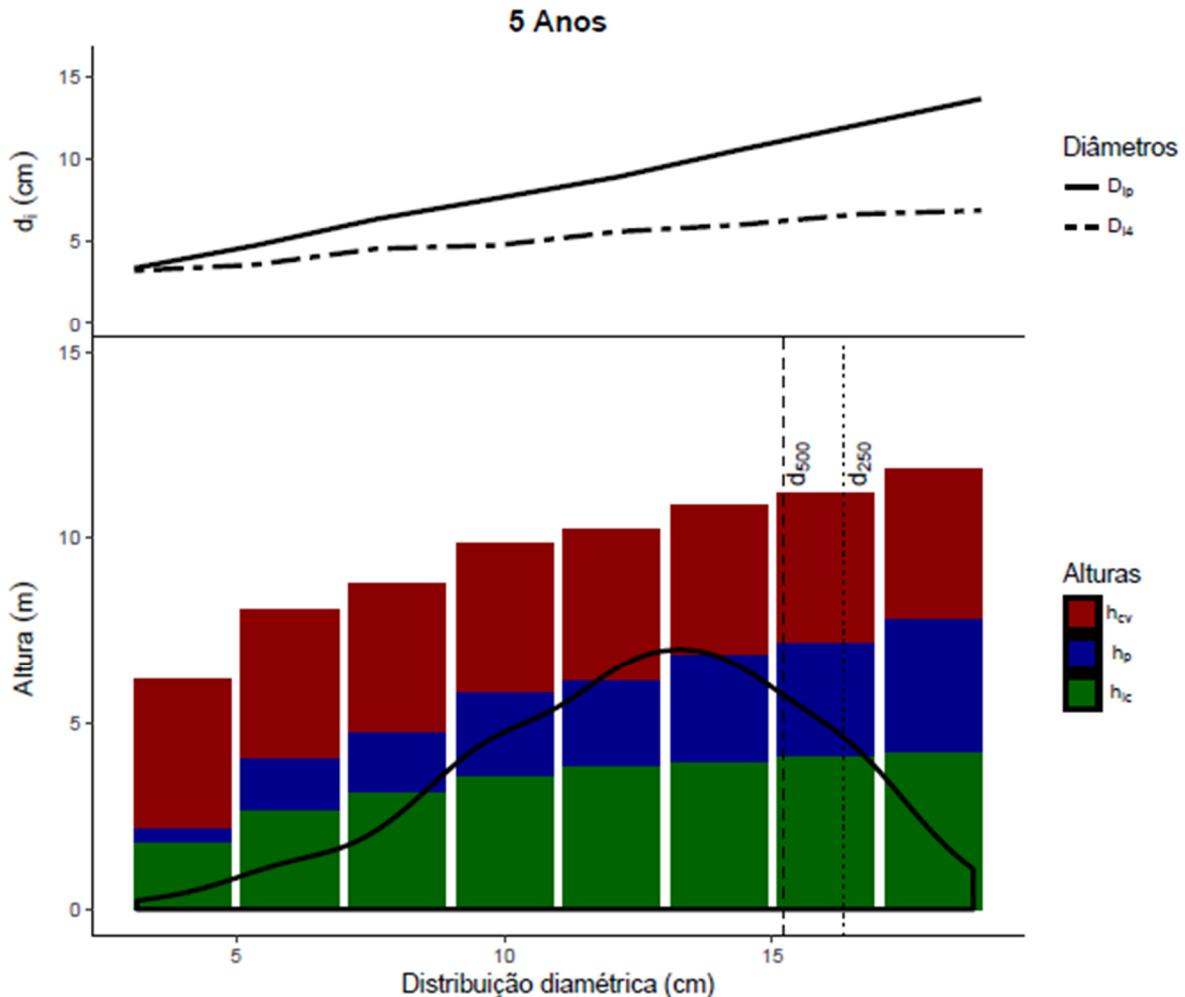
O diâmetro de máximo núcleo nodoso apresentou comportamento similar aos casos anteriores, em que a árvore d_g teve um valor próximo aos 10 centímetros (11,5 cm nesse caso) e as árvores dominantes (d_{250}) próximo aos 15 centímetros, sendo considerado um valor elevado para que se tenha produção de toras de qualidade no corte final.

Nota-se que a variação diamétrica entre a seção mais alta (dd) e a mais baixa (DD) da região podada é de aproximadamente 1 cm em todos os casos. Esse fato é decorrente de uma redução na conicidade do fuste das árvores. Nicoletti (2017) relata que existem inúmeros fatores que atuam na caracterização da forma do fuste das árvores como espécie, idade, desbaste, posição sociológica, espaçamento, sítio, copa e poda.

A poda inibe o crescimento na base do tronco, com isso, o desenvolvimento do diâmetro do fuste é proporcionalmente superior em frações não podadas, tornando as árvores mais cilíndricas, sendo que o realce dos efeitos depende da severidade das intervenções (KOSLOWSKI, 1971; SCOLFORO e THIERSCH, 2004; CARDOSO, 2009). Dessa forma, as intervenções (1^a poda e 2^a poda) realizadas em momentos anteriores nesse povoamento podem ter relação com uma menor amplitude entre os diâmetros das extremidades da região podada, quando comparado com os povoamentos que passaram por menos intervenções.

A Figura 22 demonstra graficamente o panorama quantitativo do povoamento com 5 anos de idade.

Figura 22 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 5 anos de idade.



Sendo: d_i : diâmetro na posição i do fuste; D_{ip} : diâmetro na posição de início da copa; D_{14} : diâmetro na posição em que restariam 4 metros de copa remanescente; h_{cv} : altura de copa viva; h_p : fração do fuste passível de poda; h_{ic} : altura de início da copa.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O gráfico revela que todas as árvores da distribuição diamétrica tinham um potencial de elevação na altura de poda para pelo menos 5 metros nas árvores com diâmetro superior à média sem ocasionar prejuízos no crescimento das árvores. A altura de poda determinada pelo regime padrão subestimou o potencial de elevação da poda nesse caso.

A distribuição diamétrica do povoamento demonstrou um comportamento de assimetria negativa, em que os valores mais altos são mais frequentes. Esse fato reforça a necessidade de avaliação numérica do povoamento na fase de planejamento das operações, com isso possibilitaria a tomada de decisão no sentido de elevar a altura de poda em função das consideráveis proporções de indivíduos em classes diamétricas superiores.

4.4.4 Análise do povoamento com 6 anos de idade (4ª Poda)

Ao atingir 6 anos de idade, o regime de poda atual dos povoamentos preconiza a elevação da seção do fuste podado para 4,8 metros de altura. A dimensão das árvores indicadoras de dominância diamétrica foi avaliada e apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Dimensões das árvores indicadoras d_g , d_{500} e d_{250} para o povoamento de 6 anos de idade.

Indicador	DAP (cm)	h (m)	h_p (m)	Δ (m)
d_g	18,3	14,3	9,9	5,1
d_{500}	20,3	14,6	10,2	5,4
d_{250}	21,6	15,0	10,6	5,8

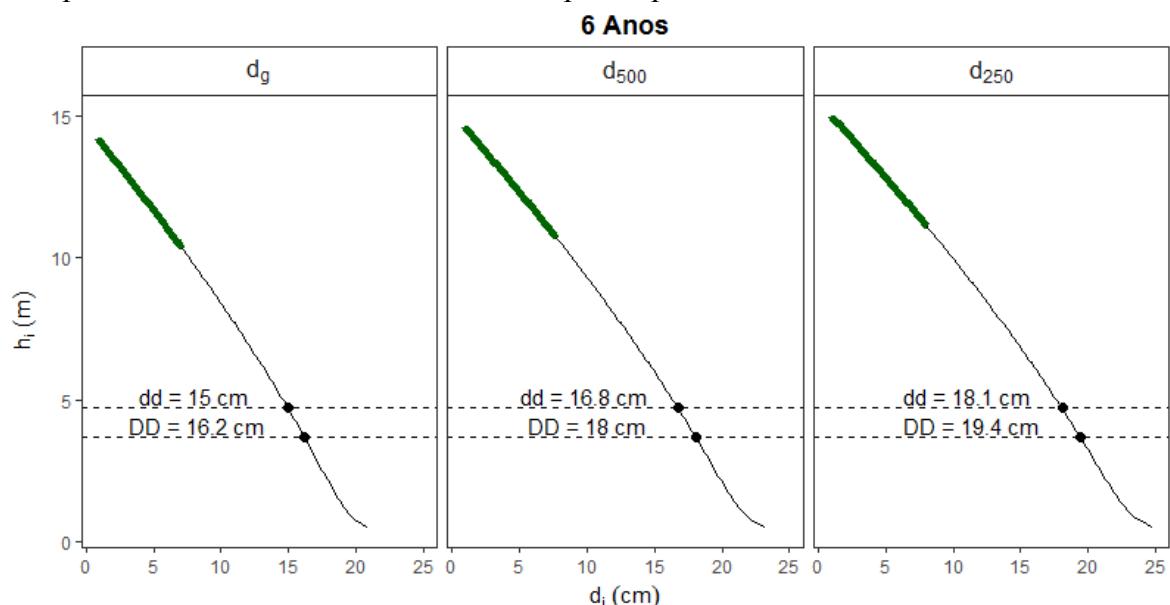
Sendo: d_g : diâmetro médio quadrático; d_{500} : diâmetro das 500 árvores mais grossas em um hectare; d_{250} : diâmetro das 250 árvores mais grossas em um hectare; DAP: diâmetro à altura do peito; h: altura total; h_p : região do fuste passível de poda; Δ : variação entre a região podada e a região passível de ser podada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A diferença entre o diâmetro médio quadrático e o diâmetro das 250 árvores mais grossas por hectare foi de aproximadamente 3 cm, reflexo da amplitude diamétrica do povoamento. A altura total das árvores se mostrou homogênea, com diferença submétrica.

Destaca-se o potencial de altura passível de poda ser 4 metros superior à altura definida pelo regime (4,8 m), demonstrando que o povoamento já poderia ter alcançado a meta final do regime. A Figura 23 apresenta graficamente as dimensões diamétricas das árvores correspondentes aos indicadores avaliados para o povoamento de 6 anos.

Figura 23 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 6 anos.

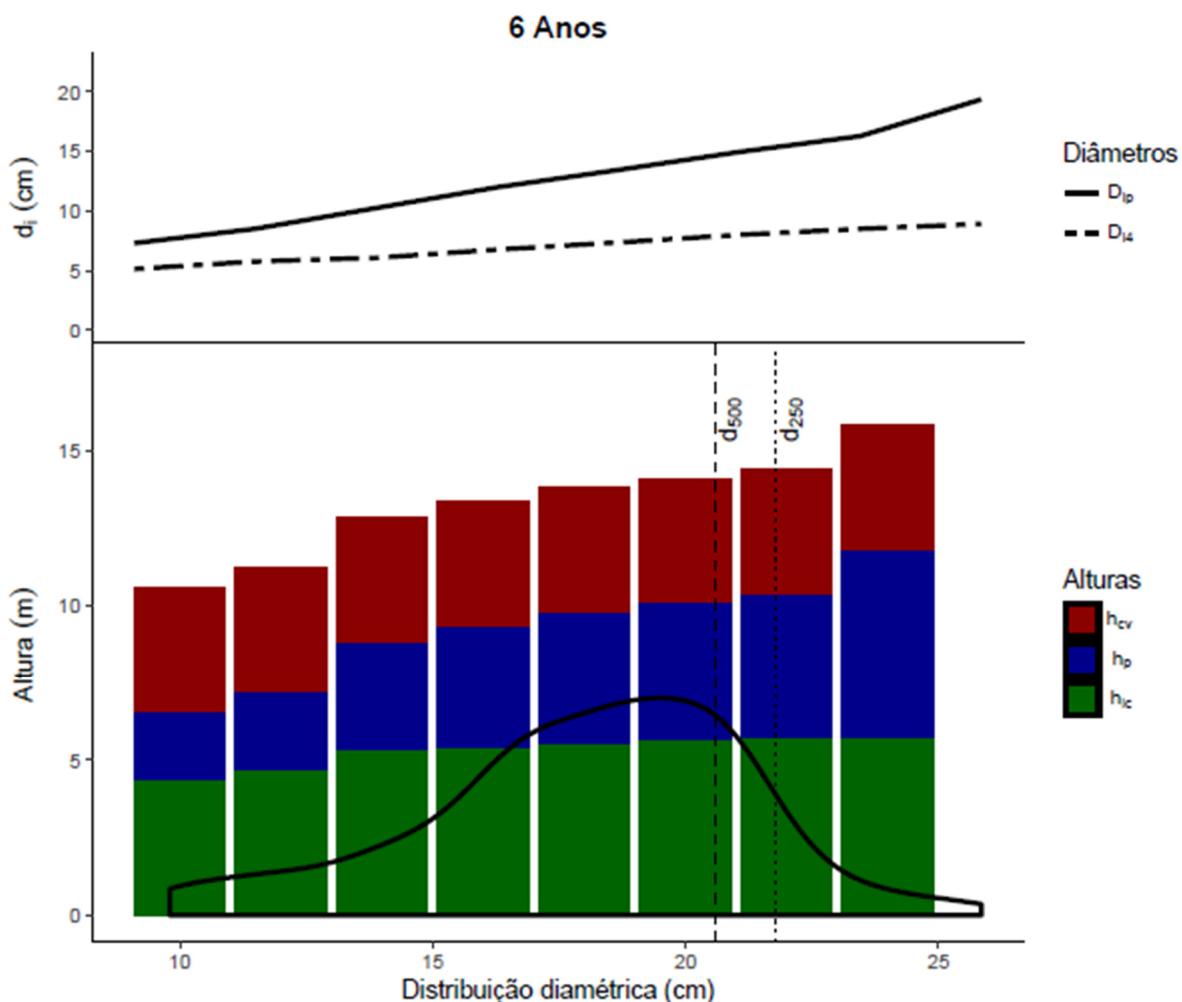


Sendo: dd: diâmetro de mínimo núcleo nodoso da intervenção; DD: diâmetro de máximo núcleo nodoso da intervenção. As linhas tracejadas representam a região do fuste correspondente à retirada de galhos da quarta poda do regime atual (3,8 m – 4,8 m). O trecho da linha contínua destacada em verde representa o mínimo de copa pressuposto.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os diâmetros de máximo núcleo nodoso desses indivíduos apresentaram valores elevados tanto para o indicador d_g , quanto para o indicador d_{250} . Como já mencionado, elevados valores de DD em uma tora exigem uma maior dimensão da tora no final do ciclo para que se tenha um aproveitamento comercial apreciável. A Figura 24 apresenta um panorama do povoamento baseando-se em sua distribuição diamétrica.

Figura 24 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 6 anos de idade.



Sendo: d_i : diâmetro na posição i do fuste; D_{ip} : diâmetro na posição de início da copa; D_{i4} : diâmetro na posição em que restariam 4 metros de copa remanescente; h_{cv} : altura de copa viva; h_p : fração do fuste passível de poda; h_{ic} : altura de início da copa.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observando os dados, a poda do povoamento em questão, assim como os anteriores, seguiu rigorosamente a prescrição do regime vigente. No entanto, a dimensão das árvores revela uma ampla faixa de altura de elevação potencial da poda, inclusive ultrapassando a prescrição total de 5,8 metros de fuste podado do regime.

4.4.5 Análise do povoamento com 7 anos de idade (5^a Poda)

A última poda do regime vigente nos povoamentos avaliados determina a elevação da altura podada até 5,8 metros. A Tabela 16 demonstra numericamente a dimensão das árvores indicadoras do povoamento com 7 anos de idade.

Tabela 16 - Dimensões das árvores indicadoras d_g , d_{500} e d_{250} para o povoamento de 7 anos de idade.

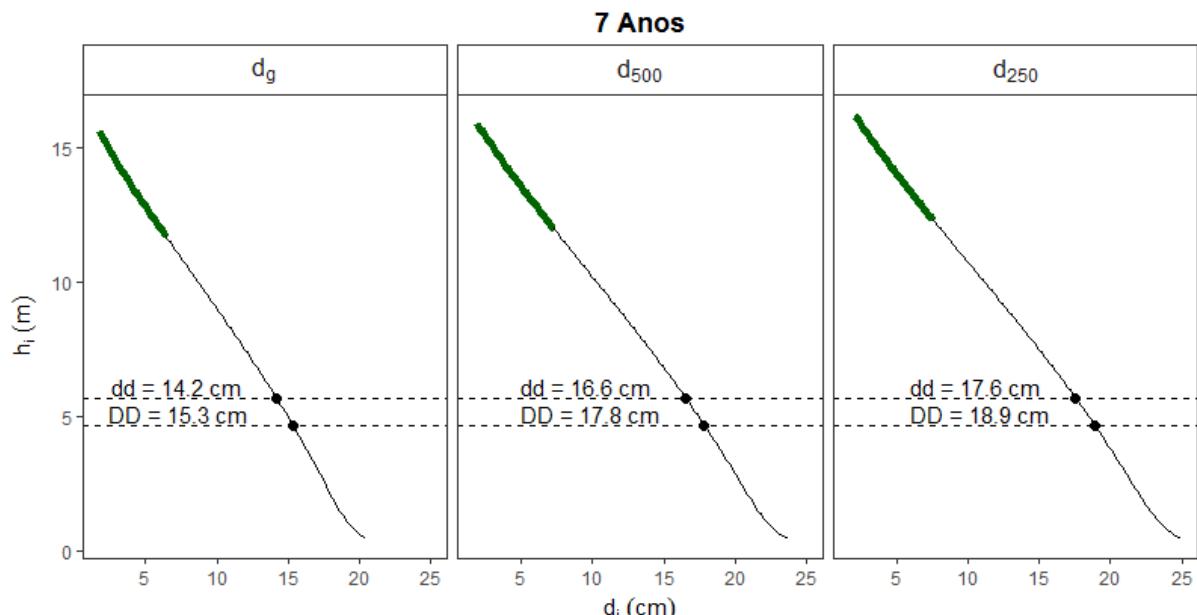
Indicador	DAP (cm)	h (m)	h_p (m)	Δ (m)
d_g	18	15,7	11,3	5,5
d_{500}	20,8	15,9	11,5	5,7
d_{250}	21,9	16,3	11,9	6,1

Sendo: d_g : diâmetro médio quadrático; d_{500} : diâmetro das 500 árvores mais grossas em um hectare; d_{250} : diâmetro das 250 árvores mais grossas em um hectare; DAP: diâmetro à altura do peito; h: altura total; h_p : região do fuste passível de poda; Δ : variação entre a região podada e a região passível de ser podada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observam-se elevadas dimensões tanto em altura total quanto em diâmetro à altura do peito em todos os indicadores, o potencial de elevação da altura de fuste podado nessa idade ultrapassou 11 metros em todos os casos. Essas informações corroboram a discussão realizada no item anterior. A Figura 25 representa as dimensões diamétricas ao longo do fuste das árvores indicadoras.

Figura 25 - Representação gráfica do diâmetro em função de sua posição no fuste das árvores correspondentes aos indicadores diamétricos para o povoamento de 7 anos.

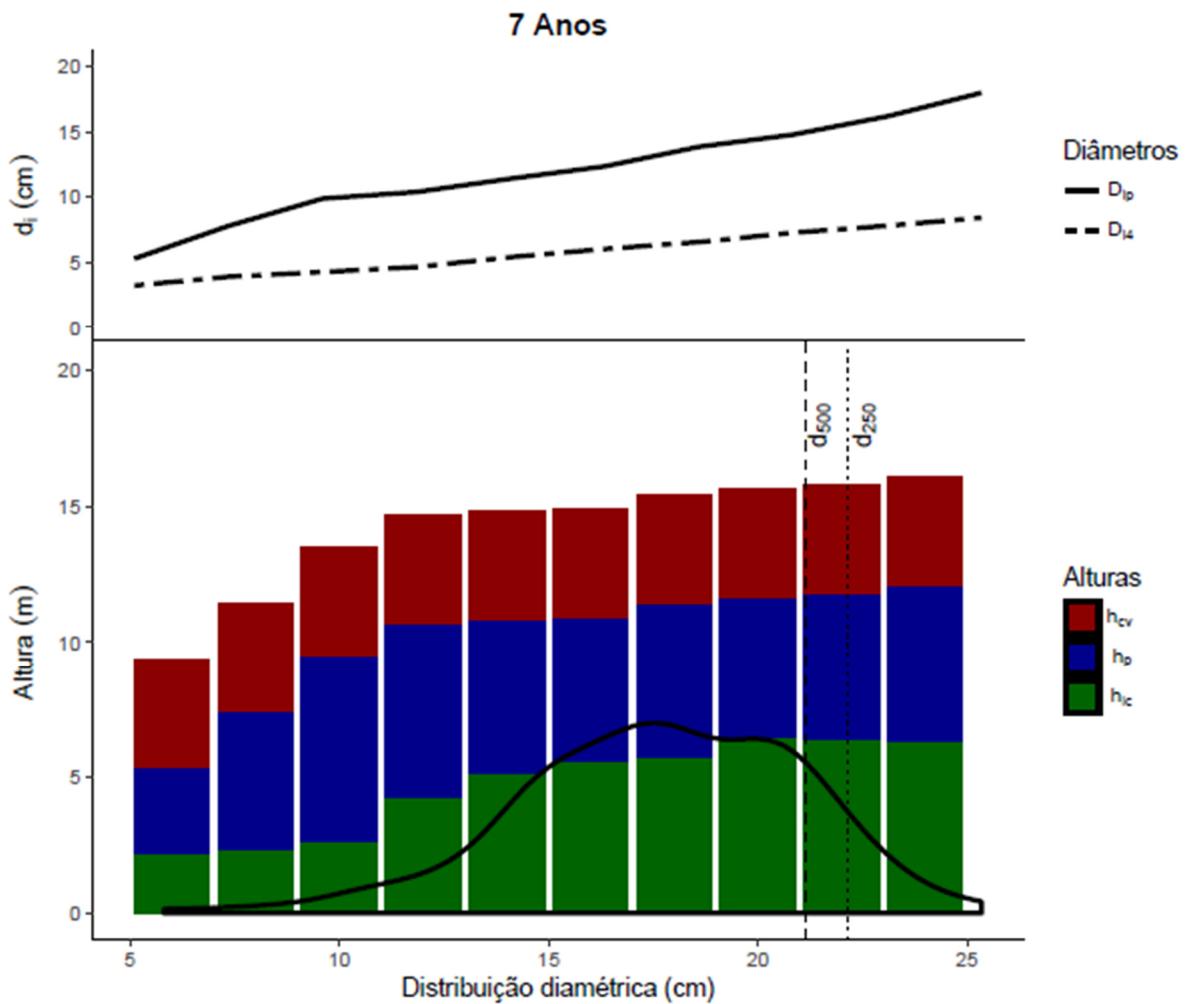


Sendo: dd: diâmetro de mínimo núcleo nodoso da intervenção; DD: diâmetro de máximo núcleo nodoso da intervenção. As linhas tracejadas representam a região do fuste correspondente à retirada de galhos da quinta poda do regime atual (4,8 m – 5,8 m). O trecho da linha contínua destacada em verde representa o mínimo de copa pressuposto.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Assim como no item anterior, verifica-se um elevado valor no diâmetro de máximo núcleo nodoso para todos os casos, para a árvore d_g esse valor foi superior a 15 centímetros, para d_{500} e d_{250} , foi superior a 17 centímetros. A Figura 26 demonstra a situação do povoamento por meio de sua distribuição diamétrica.

Figura 26 - Representação gráfica da situação real do povoamento e simulação de aplicação da pressuposição de 4 metros de copa remanescente para 7 anos de idade.



Sendo: d_i : diâmetro na posição i do fuste; D_{ip} : diâmetro na posição de início da copa; D_{i4} : diâmetro na posição em que restariam 4 metros de copa remanescente; h_{cv} : altura de copa viva; h_p : fração do fuste passível de poda; h_{ic} : altura de início da copa.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observa-se um grande potencial de aumento na altura de poda, não realizado em função da determinação da altura máxima a ser podada pelo regime vigente de 5,8 metros. Por outro lado, apesar de não se tratar do mesmo projeto florestal, essa análise sugere que possivelmente todo o volume de copa a ser retirado nas duas intervenções (4^a poda e 5^a poda) possa ser resumido a uma, reduzindo uma intervenção. Essa hipótese pode ser sustentada pela altura potencial de poda apresentada aos seis anos. No entanto, tal afirmativa deve ser comprovada com a realização de mais estudos, avaliando outros aspectos relacionados à atividade.

4.4.6 Considerações sobre o regime de poda atual

O plano de manejo das florestas em estudo preconiza a realização da poda das árvores até 5,8 metros de altura em 5 intervenções, iniciando aos 3 anos e concluindo aos 7 anos, sendo uma intervenção a cada ano.

Apesar do estudo tratar de povoamentos distintos em todas as idades do regime, algumas afirmações podem ser pontuadas.

Conforme avaliação quantitativa, as árvores apresentaram a altura necessária para alcançar este objetivo aos 5 anos, considerando a pressuposição de manutenção de copa remanescente com no mínimo 4 metros. Dessa maneira, a retirada dos galhos das árvores dominantes seria realizada com diâmetros inferiores à 10 cm, reduzindo o núcleo nodoso.

Já as árvores com 6 e 7 anos permitem elevar a altura de fuste podado para aproximadamente 10 metros, destacando ser tardia a conclusão do regime nessas idades.

Portanto, as análises sugerem que o uso da idade como fator determinante do momento de cada intervenção e seu respectivo comprimento de seção a ser podado pode ser ineficiente. A aplicação de critério técnicos oportuniza uma possível redução no número de intervenções e na idade de término do regime de poda.

5 CONSIDERAÇÕES PARA A PRÁTICA

Diante das avaliações realizadas, sugere-se o monitoramento quantitativo e aplicação dos critérios para tomada de decisão em cada projeto florestal de maneira individual. Assim como povoamentos de diferentes idades podem apresentar estruturas horizontais e verticais semelhantes, povoamentos de mesma idade podem apresentar essas estruturas diferentes. Dessa forma, o desenvolvimento de regras gerais se torna ineficiente para atingir elevados padrões de qualidade.

As análises realizadas neste estudo permitiram detalhar pontos pouco discutidos no meio florestal a respeito de regimes de poda. Pode-se perceber a fragilidade do fator idade como critério de intervenção e definição de altura a ser podada, quando todo o regime é função apenas do fator tempo, a dimensão das árvores é fator desconhecido.

Diante do avanço constante da qualidade dos materiais genéticos que vem sendo implantados, além de práticas silviculturais que aceleram o desenvolvimento dos indivíduos, regras generalizadas tornam-se obsoletas para atender as exigências de qualidade do mercado atual.

Com base nos critérios propostos e tendo em vista o objetivo final de produção de madeira livre de nós, recomenda-se:

- Monitoramento anual das florestas por meio de inventário florestal a partir dos 3 anos de idade;
- Aplicação de funções de afilamento para descrever o perfil do fuste das árvores e conhecer o diâmetro ao longo da região-alvo de poda;
- Verificação das condições das árvores indicadores e realizar as prescrições de poda possíveis, determinando quando e como podar.

Assim, o regime de poda se torna técnico, baseando-se indicadores quantitativos de cada povoamento, tornando a tomada de decisão focada às demandas específicas de cada floresta, gerando um produto de maior qualidade para o mercado.

Além disso, pontua-se algumas questões relevantes:

- A minimização entre diâmetros de máximo núcleo nodoso de intervenções subsequentes proporciona toras de maior qualidade, pois torna o núcleo defeituoso da tora homogêneo;
- Deve-se realizar uma prospecção de mercado para definir a altura limite do fuste a ser podada em função do comprimento dos sortimentos comerciais;

- Sugere-se o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao pressuposto de mínima copa remanescente para diferentes sítios e materiais genéticos, uma vez que se trata do fator limitante e de maior impacto no desenvolvimento das árvores; e
- Sugere-se, também, o desenvolvimento de pesquisas que determinem formas de estimar o incremento necessário para oclusão do núcleo nodoso em função de sua altura e do diâmetro de seu galho podado.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados na presente pesquisa, critérios técnicos foram desenvolvidos tomando como base fontes de dados quantitativos para auxiliar no desenvolvimento de regimes de poda.

O perfil do fuste das árvores de *P. taeda* foram descritos para as idades avaliadas, tornando-se uma informação essencial como critério para estimativas de núcleo nodoso das árvores em cada intervenção.

Indicadores relacionados à dominância diamétrica fornecem uma interface entre o manejo da floresta e o trato silvicultural, quando aplicados de maneira convergente podem resultar em ganhos na qualidade das toras originadas do processo, por meio da redução do núcleo nodoso.

Foi possível visualizar que o núcleo nodoso mínimo, caso atenda-se a pressuposição de 4 metros de copa remanescente poderia alcançar entre 10 e 12 centímetros, dependente do momento da intervenção. Para os povoamentos estudados, as análises sugerem que haja uma maior retirada de galhos por intervenção, com potencial de redução do número de operações e concluindo o regime de poda com 5 anos de idade para todas as árvores.

A periodicidade entre intervenções deve ser definida por meio do planejamento operacional fundamentado por dados quantitativos coletados em monitoramentos anuais das florestas.

Diante dos métodos, critérios e indicadores apresentados, é possível verificar um potencial de uso de dados e análises quantitativas como forma de melhoria do planejamento das atividades relacionadas aos tratos silviculturais de poda.

Ao conhecer detalhadamente as dimensões das árvores do povoamento a ser manejado, pode-se inferir sobre o melhor período para realizar intervenções a fim de otimizá-las, como forma de redução do custo e otimizar a qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

- ACERBI JÚNIOR, F. W. **Definição de regimes de desbaste e poda economicamente ótimos para *Pinus taeda*.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 1998.
- 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**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- BARRICHELO, L. E. G; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, v. 15, p. 1-14, 1977.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CARDOSO, D. J. **Viabilidade técnica e econômica da poda em plantações de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2009.
- COLÉGIO FLORESTAL DE IRATI. **Manual do técnico florestal: apostilas do Colégio Florestal de Irati.** INGRA S.A., Campo Largo, v. 1, 1986.
- COWN, D. J. Effects of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Gisborne, v. 3, p. 379-89. 1973.
- DO VALE, R.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORI, F. A.; MORAIS, A. R. Efeito da desrama na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 285-297. 2002.
- DOBNER JUNIOR, M. **Crown thinning effects on growth and wood quality of *Pinus taeda* Stands in Southern Brazil.** Thesis (Dr. rer. nat.) Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, 2013.
- DOBNER JUNIOR, M.; HUSS, J. **Desbaste pelo alto: uma alternativa rentável para povoamentos de *Pinus taeda* no Sul do Brasil.** 1. ed. Pomerode: Impressora Mayer, 2015.
- DOBNER JUNIOR, M.; TRAZZI, P. A.; MACHADO, S. A.; HIGA, A. R. Aspectos dendrométricos e silviculturais de um povoamento de *Cunninghamia lanceolata* no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 1-9, 2017.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** 3. ed. New York: JohnWiley & Sons, 1966. 709 p.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 269 p. 1997.
- FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167 - 188, 2001.

GUEDES, S. F. F. **Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 2005.

HOPPE, J. M.; FREDDO, A. R. Efeito na intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm. no município de Piratini, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, 2003.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Inventory**. Malabar: Krieger Publishing Company, 402 p. 1993.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo: IBÁ, 2017.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 14 de fevereiro de 2017.

KERR, G.; HAUFE, J. **Thinning Practice: A Silvicultural Guide**. Forest research, 2011. 54 p.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 545-554, 2015.

KOZLOWSKI, T. T. **Growth and development of trees**. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, 1971. 514 p.

KOZLOWSKI, T. T. **Wisconsin Woodlands: How Forest Trees Grow**. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, v.2. 1984.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 158 p.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliottii* no estado do Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

MACHADO, S. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. D. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006

MÄKINEN, H.; VERKASALO, E.; TUIMALA, A. Effects of pruning in Norway spruce on tree growth and grading of sawn boards in Finland. **Forestry: International Journal of Forest Research**, Oxford University Press, v. 87, n. 3, p. 417-424, 2014.

NEILSEN, W. A.; PINKARD, E. A. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, n. 11, p. 2067-2073, 2003.

NICOLETTI, M. F. **Modelagem não linear mista e método bivariado para sortimento da produção de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2017.

O'HARA, K. L. A biological justification for pruning in coastal Douglas-fir stands. **Western Journal of Applied Forestry**. v. 3, p. 59–63. 1991.

O'HARA, K. L. Pruning wounds and occlusion: A long-standing conundrum in forestry. **Journal of Forestry**. v. 105, n. 3, p. 131–138. 2007.

PÉLLICO NETTO, S; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Florestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 586 p.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016.

RIBEIRO, N.; ALMEIDA, A. S.; GUEDES, B. S.; STAIISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo, 2002, 125 p.

SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A.; SILVA, E. Q.; BARTH-FILHO, N.; MATOSKI, S. L. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 129-140, 2003.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. Curitiba: Multigraphics, 2009. 316 p.

SARTORIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantada em diferentes densidades**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2016.

SCHILLING, A. C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 1996.

SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desramas para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 129-134. 2001.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. Biometria florestal: medição, volume e gravimetria. Lavras: UFLA/FAEPE. 2004, 285 p.

SEITZ, R. A. **Manual da poda de espécies arbóreas florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995. 165 p.

SOARES, T. S.; VALLE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

TÉO, S. J.; ROCHA, S. P.; BORTONCELLO, A. C.; PAZ, R. A.; COSTA, R. H. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 183-192, 2011.

TRIOLA, M. F. **Elementary statistics technology update**. 11. ed. Boston: Pearson, 844 p. 2010.

VAN LAAR, A.; AKÇA, A. **Forest mensuration**. Dordrecht: Springer, 2007. 384 p.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A. S.; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 445-450, 2007.

VORREITER, L. **Holztechnologisches Handbuch**. Band II. Wien und München: Verlag Georg Fromme & CQ, 1958. 646 p.

YOSHITANI JUNIOR, M.; YOSHIHIRO NAKAJIMA, N.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. do A; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International**, Piracicaba, v. 2, p. 31-38, 1992.

APÊNDICE A – Resumo dos dados de inventário florestal (Continua)

Idade	Unidade Amostral	Número de árvores (n/UA)	DAP (cm)	h_f (m)	h_{bv} (m)	h_{2v} (m)
3 Anos	36	13	7,4	6,4	1,9	2,4
3 Anos	37	14	10,7	8,2	1,9	2,4
3 Anos	38	12	8,0	6,6	1,7	2,1
3 Anos	43	15	8,4	5,3	1,6	1,9
3 Anos	44	15	8,6	5,4	1,8	2,1
3 Anos	45	15	10,0	5,9	1,8	2,2
3 Anos	46	16	7,9	5,4	1,5	1,8
3 Anos	47	14	8,1	5,4	1,7	2,0
3 Anos	48	14	8,0	5,1	1,6	1,9
3 Anos	49	13	6,1	4,3	1,4	1,7
3 Anos	50	15	7,6	5,0	1,5	1,8
3 Anos	52	15	9,5	8,0	2,0	2,4
3 Anos	53	13	7,7	6,8	1,7	2,1
3 Anos	54	15	8,1	6,9	1,9	2,3
3 Anos	55	10	8,7	7,0	1,8	2,2
3 Anos	100	14	9,1	7,2	1,9	2,3
4 Anos	20	14	13,9	8,6	2,6	2,9
4 Anos	21	15	12,6	7,9	2,4	2,7
4 Anos	22	16	14,6	8,5	2,4	2,7
4 Anos	23	14	13,3	7,6	2,3	2,7
4 Anos	24	17	10,8	7,0	2,0	2,4
4 Anos	25	14	14,7	8,3	2,6	3,0
4 Anos	26	14	12,3	8,2	2,3	2,7
4 Anos	27	16	11,3	6,7	2,0	2,4
4 Anos	28	15	12,2	7,7	2,2	2,6
4 Anos	29	14	11,0	7,1	2,0	2,3
4 Anos	30	15	13,5	8,1	2,2	2,6
4 Anos	31	17	13,1	8,2	2,3	2,7
4 Anos	32	13	11,6	6,5	2,0	2,3
4 Anos	33	16	13,2	7,8	2,1	2,5
4 Anos	34	14	14,3	7,8	2,5	2,9
5 Anos	1	16	12,0	8,0	3,5	4,1
5 Anos	2	16	15,0	10,4	3,8	4,2
5 Anos	3	16	15,7	9,9	3,8	4,4
5 Anos	4	14	12,0	8,7	3,5	4,0
5 Anos	5	14	14,4	11,5	4,3	4,8
5 Anos	6	13	13,4	10,3	3,9	4,4
5 Anos	7	11	12,0	10,8	3,8	4,4

APÊNDICE A – Resumo dos dados de inventário florestal (Continuação)

Idade	Unidade Amostral	Número de árvores (n/UA)	DAP (cm)	h_t (m)	h_{bv} (m)	h_{2v} (m)
5 Anos	8	13	12,5	10,8	3,3	3,9
5 Anos	9	15	11,6	11,4	3,9	4,4
5 Anos	10	15	14,3	11,3	4,2	4,6
5 Anos	11	13	11,1	10,3	4,2	4,8
5 Anos	12	15	9,4	9,6	3,4	4,0
5 Anos	13	13	10,5	9,7	3,6	4,2
5 Anos	14	14	10,6	9,4	3,1	3,6
5 Anos	15	14	13,8	12,0	4,5	5,1
6 Anos	60	11	19,6	13,9	5,6	6,3
6 Anos	61	13	17,7	13,5	5,5	6,1
6 Anos	63	12	17,5	13,2	5,3	5,9
6 Anos	64	10	19,0	13,5	6,0	6,6
6 Anos	65	11	17,9	14,2	5,4	6,2
6 Anos	66	10	18,3	13,2	5,8	7,0
6 Anos	67	13	17,5	13,2	5,3	5,9
6 Anos	68	10	19,2	13,9	5,8	6,3
6 Anos	69	13	18,0	13,8	6,0	6,7
6 Anos	70	14	14,0	12,5	5,2	5,6
6 Anos	71	13	19,6	13,9	5,3	5,9
6 Anos	72	10	18,7	13,6	5,2	5,8
6 Anos	73	10	19,8	14,3	5,6	6,1
6 Anos	75	13	15,9	12,6	5,4	5,9
6 Anos	76	11	18,1	12,7	5,1	5,7
6 Anos	77	12	18,2	13,9	5,3	5,9
7 Anos	74	12	19,8	14,9	5,8	6,4
7 Anos	80	13	19,0	15,8	6,0	6,6
7 Anos	81	16	17,4	14,4	4,8	5,4
7 Anos	82	17	17,2	15,3	5,2	5,7
7 Anos	83	17	16,9	15,3	6,2	6,8
7 Anos	84	16	16,9	16,0	6,0	6,7
7 Anos	85	17	19,0	15,5	6,5	7,3
7 Anos	86	17	16,5	15,7	5,6	6,4
7 Anos	87	13	19,4	14,7	5,9	6,4
7 Anos	88	14	17,6	15,4	5,6	6,2
7 Anos	89	16	17,6	15,1	5,7	6,4
7 Anos	90	17	16,3	14,9	5,7	6,5
7 Anos	94	17	18,6	15,0	5,4	6,1

APÊNDICE B – Dispersão residual dos modelos de função de afilamento avaliados