UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GEÓRGIA LEVORSE OLIVEIRA

CRESCIMENTO E SIMULAÇÕES DE MANEJO PARA PLANTIO DE *Pinus elliottii* Engelm. EM IDADE AVANÇADA

LAGES

2024

GEÓRGIA LEVORSE OLIVEIRA

CRESCIMENTO E SIMULAÇÕES DE MANEJO PARA PLANTIO DE *Pinus elliottii* Engelm. EM IDADE AVANÇADA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka.

Co-orientador: Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares

LAGES

2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

CRESCIMENTO E SIMULAÇÕES DE MANEJO PARA PLANTIO DE *PINUS ELLIOTTII* ENGELM. **EM IDADE AVANÇADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka - Presidente

UDESC/Lages-SC

Membros:

Prof. Dr. Gerson dos Santos Lisboa

UFG/Aparecida de Goiânia-GO

Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti

UDESC/Lages-SC

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da

Biblioteca Universitária Udesc,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Levorse Oliveira, Geórgia
Crescimento e simulações de manejo para plantio de Pinus elliottii Engelm. em idade avançada / Geórgia Levorse Oliveira. -- 2024.
66 p.

Orientador: Thiago Floriani Stepka
Coorientador: Phlipe Ricardo Casemiro Soares
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2024.

1. Manejo florestal de longa rotação. 2. Modelagem florestal. 3. Análise econômica. I. Floriani Stepka, Thiago . II. Casemiro Soares, Phlipe Ricardo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Titulo.

RESUMO

O gênero *Pinus* é um dos mais plantados no Brasil, sobretudo na região sul do país, tendo diretrizes de manejo pré-estabelecidas e praticadas tanto em grandes empresas quanto por pequenos produtores do setor florestal. Neste trabalho, objetivou-se avaliar diferentes cenários de ciclo final em um povoamento de *Pinus elliottii* Engelm, sendo propostos os términos das rotações com 15, 30, 45 e 60 anos. A área de estudo situa-se na Floresta Nacional de Três Barras/SC, composta por quatro talhões implantados no ano de 1963 totalizando uma área de 8,95 ha. O povoamento estudado foi submetido a 4 desbastes mistos aos 6, 14, 23 e 36 anos, este último no ano de 1999 e desde então não tiveram mais nenhuma intervenção. Realizou-se censo dos talhões nos anos 2013 e 2021, neste último ano foi realizada ainda uma coleta de rolos de incremento de 29 árvores do talhão 55 e da árvore dg de cada um dos outros talhões. Procedeu-se uma análise retrospectiva e estimativa dos DAPs dos anos de ciclos simulados e nos que houve desbaste, sendo esta realizada pelo ajuste do modelo de Chapman-Richards, que teve o coeficiente $\beta 0$ de 59,8, indicando o valor assintótico, isto é, o máximo que a variável Y estimada pode atingir. As estimativas hipsométricas foram realizadas com base em quatro equações disponíveis na literatura, o volume no ano 6 com base na equação volumétrica de Meyer Modificada com parâmetros da literatura e o volume e afilamento dos demais anos foi obtido por meio das funções de afilamento do Polinômio do 2º Grau de Kozak e do Polinômio do 5° Grau, com ajustes da literatura. Classificou-se as toras obtidas pelos sortimentos considerando a ponta fina, sendo 4 classes e as toras medindo 2,6 m de comprimento. Nas simulações com ciclos mais longos, houve ganho em diâmetro, altura, volume individual e por hectare, além da distribuição de toras por classes de sortimento ser mais favorável para os cenários com maior tempo de rotação. Para a análise econômica utilizou-se 7 cenários com diferentes ciclos, utilizando um horizonte de planejamento de 60 anos, os custos e preços atribuídos a madeira utilizados foram provenientes da literatura, os parâmetros utilizados como comparativo foram TIR, VPL e VAE. O cenário com melhor desempenho no comparativo foi o que contempla dois ciclos de 30 anos, porém ao se aplicar um valor diferente considerando madeira para abastecer mercado diversificado, o cenário Testemunha, com um ciclo de 60 anos é o que tem melhor desempenho.

Palavras-chave: Manejo florestal de longa rotação. Modelagem florestal. Análise econômica.

ABSTRACT

The *Pinus* genus is one of the most planted in Brazil, especially in the southern region of the country, with pre-established management guidelines and practiced both in large companies and by small producers in the forestry sector. In this work, the objective was to evaluate different final cycle scenarios in a *Pinus elliottii* Engelm stand, with rotation ends being proposed at 15, 30, 45 and 60 years. The study area is located in the Floresta Nacional de Três Barras, consisting of four plots established in 1963, totaling an area of 8.95 ha. The studied population was subjected to 4 mixed thinnings, at 6, 14, 23 and 36 years old, the latter in 1999 and since then there has been no further intervention. A census of the plots was carried out in the years 2013 and 2021, in this last year a collection of increment rolls of 29 trees from plot 55 and the dg tree from each of the other plots was also carried out. A retrospective analysis and estimation of the DAPs of the years of simulated cycles and those in which there was thinning was carried out, which was carried out by adjusting the Chapman-Richards model, which had a coefficient β0 of 59.8, indicating the asymptotic value, that is the maximum that the estimated variable Y can reach. The hypsometric estimates were carried out based on four equations available in the literature, the volume in year 6 was based on Meyer's volumetric equation Modified with parameters from the literature and the volume and tapering of the other years was obtained through the tapering functions of the Polynomial of Kozak's 2nd Degree and the 5th Degree Polynomial, with adjustments from the literature. The logs obtained by the assortments were classified considering the thin end, with 4 classes and the logs measuring 2.6 m in length. In simulations with longer cycles, there was a gain in diameter, height, individual volume and volume per hectare, in addition to the distribution of logs by assortment classes being more favorable for scenarios with longer rotation times. For the economic analysis, 7 scenarios with different cycles were used, using a planning horizon of 60 years, the costs and prices attributed to the wood used came from the literature, the parameters used as comparisons were IRR, NPV and VAE. The scenario with the best performance in the comparison was the one that includes two cycles of 30 years, however when applying a different value considering wood to supply a diversified market, the Witness scenario, with a cycle of 60 years, is the one that has the best performance.

Keywords: Long rotation forest management. Forest modeling. Economic analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no planalto norte catarinense e delimitação dos quatro talhões estudados. 26
Figura 2 - Representação da distribuição espacial das árvores do Talhão 55 com ênfase as 29 árvores amostradas para a coleta de rolos de incremento. 28
Figura 3 - Visualização dos anéis de crescimento nas amostras não destrutivas já preparadas. 29
Figura 4 - Linha do tempo do manejo e ciclos estabelecidos para modelagem. 30
Figura 5 - Cenários utilizados para avaliação econômica, destacando-se as idades em anos de cada rotação. 34
Figura 6 - Diagramas de caixa (Boxplot) do número de árvores, área basal, diâmetro médio quadrático e volume, todos por hectare. 38
Figura 7 - Distribuição de frequência diamétrica do censo do ano de 2021 e do giro de Bitterlich. 40
Figura 8 - Curva de produção da variável diâmetro à altura do peito (cm) estimada (vermelho) e curvas de produção em diâmetro mensuradas nas 33 árvores em que se realizou a análise de tronco parcial. 41
Figura 9 - Evolução dos diâmetros (cm) e alturas (m) médias para as idades trabalhadas. 42
Figura 10 - Número de árvores por hectare pré e pós desbaste nas idades em que houve intervenção. 43
Figura 11 - Área basal média para cada idade trabalhada pré e pós desbaste e nos finais de rotação dos cenários. 44
Figura 12 - Volumes médios individuais e por hectare em cada uma das idades modeladas. 45
Figura 13 - Estoque de madeira na floresta em volume e número de toras por hectare por classe de sortimento por idade pré desbaste. 46
Figura 14 - Comparativo do volume e número de toras retirado nos desbastes e remanescente na floresta por sortimento nas idades com ocorrência de intervenção. 48
Figura 15 - Comparativo dos indicadores (VPL, TIR e VAE) do cenário com melhor desempenho (III) e cenário Testemunha, com preços A, B e C que é referente ao mercado diversificado. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área dos talhões de Pinus elliottii implantados no ano de 1963 na Floresta Nacional de Três Barras..... 25
Tabela 2 - Alteração da densidade de árvores na floresta em função das operações de desbastes realizadas ao longo dos anos. 27
Tabela 3 - Modelos, coeficientes e indicadores para cada idade estimada..... 31
Tabela 4 - Parâmetros e estatísticas dos modelos volumétricos ou equações de afilamento nas idades trabalhadas..... 33
Tabela 5 - Classificação das toras de 2,6 m em relação ao diâmetro da ponta fina. 33
Tabela 6 - Custos utilizados para as atividades descritas na construção dos fluxos de caixa para cada um dos cenários de manejo ao longo do horizonte de planejamento. 35
Tabela 7 - Preço da madeira por classe de sortimento, considerando três fontes..... 35
Tabela 8 - Valor Presente Líquido com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados..... 49
Tabela 9 - Taxa Interna de Retorno com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados. 50
Tabela 10 - Valor Anual Equivalente com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados. 50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9

2. OBJETIVOS 12

2.1. OBJETIVO GERAL 12

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

3. REFERENCIAL TEÓRICO 13

3.1. SETOR FLORESTAL 13

3.2.2. Regimes de manejo 16

3.2.3. Multiprodutos gerados no manejo florestal 18

3.3. MENSURAÇÃO FLORESTAL 19

3.3.1. Modelagem e crescimento da produção 21

3.4. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS FLORESTAIS 22

4. MATERIAL E MÉTODOS 25

4.1. ÁREA DE ESTUDO 25

4.2. HISTÓRICO DO POVOAMENTO 26

4.3. MODELAGEM DOS DADOS 29

4.3.1. Estimativa do desenvolvimento do DAP 30

4.3.2. Estimativa hipsométrica 31

4.3.3. Volume e afilamento 32

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA 33

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 38

5.1. ESTIMATIVAS DIAMÉTRICAS E HIPSOMÉTRICAS 39

5.2. VOLUME E SORTIMENTOS 44

5.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA 48

6. CONCLUSÕES 53

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

1. INTRODUÇÃO

Apesar do histórico marcado pela exploração irracional dos seus recursos naturais, o Brasil tem a maior parte do seu território coberto por florestas, majoritariamente nativas, que sofrem com o aumento dos índices de desmatamento, acarretando consequências severas para o clima e manutenção das espécies. De face com a necessidade da conservação das florestas nativas e com o aumento da demanda por produtos madeireiros, as florestas plantadas são uma alternativa muito eficiente para aliar a produção e a preservação. O gênero *Pinus*, o qual teve sua introdução no país na década de 1940 e possui um excelente crescimento na região Sul, é uma das espécies mais plantadas no Brasil, com significativo 19% de um total de 9,94 milhões de hectares de florestas plantadas no país (IBÁ, 2023).

A madeira de pinus é versátil, servindo como matéria prima para a manufatura de diversos subprodutos, como por exemplo serrados, painéis, compensados, biomassa energética, papel e celulose, podendo ter uma gama muito mais ampla de aplicação (IBÁ, 2021). Em um comparativo com o outro gênero mais plantado no Brasil, o *Eucalyptus*, a madeira de *Pinus* possui um poder calorífico específico mais alto, isto se dá devido ao elevado teor de lignina e caracterizando então como uma excelente opção para a produção de cavaco (STCP, 2015).

A implantação do gênero *Pinus* no Brasil teve foi parte estratégia inicial de atuar na Reposição Florestal, visando equacionar os interesses que as empresas tinham sobre o pinheiro nativo, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, foi criado em 1941 o Instituto Nacional do Pinho – INP (hoje Florestas Nacionais). As atribuições que envolviam a promoção de pesquisas e experimentos da espécie, bem como, com a formação de estoques de biomassa por meio de reflorestamento de outras espécies. Após experimentos realizados em São Paulo, em 1959 o INP determina o plantio de *Pinus* em seus parques florestais como solução ao problema da falta de madeira (VARNIER, 2021).

Há ainda uma outra utilização bastante difundida no Brasil para a espécie *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*, que é a produção resina, servindo de matéria prima para a indústria química. De acordo com Coelho (1989), a resina aparece como subproduto da atividade madeireira como item de exportação a mais de cinco décadas. A extração de goma resina é uma atividade que começou no Brasil a partir da década de 1970, em árvores de *Pinus elliottii* que foram implantadas por meio de incentivos fiscais entre os anos 1966 e 1986 (Lei 5.106/1966).

Há um crescimento da produtividade das florestas plantadas brasileiras, movido tanto pelo desenvolvimento tecnológico quanto pelas condições edafoclimáticas favoráveis disponíveis no país. Cresce a demanda, tanto nos mercados interno como externo, por materiais oriundos de florestas, o que torna o desenvolvimento dos plantios florestais atraente em termos de investimentos (Moreira et al., 2014).

Destaca-se ainda, uma exigência pelo aprimoramento na qualidade da madeira, para que os produtos provenientes delas ganhem mercado (Pereira e Tomaselli, 2004). Juntamente com o desenvolvimento das técnicas silviculturais, rotações mais longas permitem toras de maior qualidade, apropriada para usos múltiplos (Dobner Júnior, Higa e Rocha, 2012). Os regimes de manejo de multiprodutos têm efeito de redução de riscos, porque o mercado sempre valorizará madeira de melhor qualidade (Mancini, 2011).

A quantificação do potencial madeireiro, realizada a partir de informações provenientes de inventários florestais, apresenta-se como uma atividade importante em termos de planejamento da produção florestal (NAKAJIMA et al., 2011). Além de conhecer o estoque é necessário que a condução da floresta, desde sua implantação, seja adequada aos objetivos de utilização final da madeira ou dos outros subprodutos, para isso, tendo durante seu ciclo os tratos culturais corretos e o tempo de rotação técnica mais indicado para o objetivo final.

Conforme Lopes (1990), no segmento florestal, as análises econômicas têm a função de auxiliar na determinação da idade de corte, realização de tratamentos silviculturais, intensidade e espaçamento, dentre diversas outras decisões que podem ser tomadas de forma mais segura. Desta forma, a análise econômica auxilia no planejamento da produção e torna possível a otimização das intervenções culturais, de acordo com o objetivo do plantio. Ainda assim servindo como base para tomadas de decisão como conversão do uso do solo e até mesmo escolha da espécie a ser implantada.

De acordo com o STCP (2015), a produção de madeira é uma atividade de retorno a longo prazo. Por conta disto, a avaliação econômica é de grande importância e de atividade multidisciplinar, tendo que levar em consideração todos os custos que envolvem a atividade durante o ciclo produtivo e as relações de negócios como os riscos e o histórico, por exemplo.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a evolução do estoque de volume, bem como a evolução de sortimentos por meio de modelagem. Objetiva-se ainda a avaliação econômica e de manejo em cenários com distintas rotações por meio de dados reais obtidos em diversas medições em um plantio de *P. elliottii* localizado na Floresta

Nacional de Três Barras/SC, o qual foi implantado em 1963 e submetido a quatro desbastes até o final da década de 1990 e seguindo até o momento sem mais intervenções, com um estoque atual de madeira com grandes dimensões e informações que possibilitam a criação de diferentes cenários.

Hipóteses

- Como a produção de toras de grandes dimensões está associada com ciclos de rotação mais longos, mesmo com uma provável estagnação do crescimento diamétrico, o valor do ativo foi crescente em função do tempo pela maior proporção de sortimentos valiosos, devido ao incremento volumétrico, aos 60 anos considerando um mercado tradicional.

- Apesar do menor volume gerado nos sortimentos valiosos, devido a diminuição da densidade de árvores na floresta com o passar dos anos, tem-se um ganho de volume total e financeiro considerando múltiplos ciclos curtos em comparação com ciclos mais curtos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral a caracterização de uma das florestas mais antigas de *Pinus elliottii* no sul do Brasil, bem como a definição do regime de manejo ótimo considerando uma maior rentabilidade econômica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

a) Recuperar o histórico silvicultural da floresta desde a sua implantação até o estoque atual;

b) Estimar as principais variáveis dendrométricas nas diferentes idades das intervenções realizadas;

c) Estimar os sortimentos obtidos na floresta nas diferentes intervenções realizadas;

d) Gerar cenários com datas de corte raso de 15, 30, 45 e 60 anos e avaliar a evolução dos sortimentos da floresta. Observar as implicações da condução da floresta na valoração do ativo por meio de análises econômicas;

e) Inferir sobre o comportamento do volume em função do tempo de rotação, se com o dobro da idade tem-se o dobro do volume.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. SETOR FLORESTAL

A constante ascensão do setor florestal brasileiro tem grande importância para a econômica do país, corroborando com uma significativa parcela na geração de empregos, renda e produtos (VIRGENS et al., 2015). De acordo com Schmid (2017), há uma demanda crescente por produtos florestais no Brasil, porém uma oferta que não cresce na mesma proporção. Diante de tal crescimento destaca-se a necessidade de produtos produzidos a partir de matérias primas de fontes renováveis, com garantia de uma cadeia de produção sustentável.

Nos aspectos econômicos, o setor de base florestal demostra notável relevância. Em 2022, o crescimento do setor florestal adicionado ao PIB, o Produto Interno Bruto brasileiro foi de 6,3%, mantendo não só uma tendência de crescimento, mas apresentando um aumento superior ao PIB total neste período (IBÁ, 2023). Ainda em termos de crescimento, mas sob a ótica social, o setor de árvores plantadas gerou 2,6 milhões de empregos tanto diretos quanto indiretos (RAIS, 2021). mantendo uma relação de que para cada trabalhador diretamente empregado no setor de base florestal tem-se outros 5,3 postos de trabalho ao longo das cadeias, cujos produtos se originam ou têm insumos utilizados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ).

A área ocupada por florestas plantadas no Brasil é de 9,94 milhões de hectares, dividida em 76% de plantios do gênero *Eucalyptus* e 14% pelo gênero *Pinus*, as outras espécies empregadas na silvicultura, incluindo por exemplo a Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.) e Teca (*Tectona grandis* L.f.) correspondem a 5% da área plantada no país (IBÁ, 2023).

Na região sul do Brasil, o gênero mais plantado é o *Pinus*, tendo suas primeiras plantações datadas de 1880, indicando o estado do Rio Grande do Sul como o destinatário das espécies provenientes da Europa e do Mediterrâneo (SHIMIZU, 2008). Com o objetivo comercial, as primeiras plantações florestais de Pinus foram estabelecidas no Brasil, por meio do programa de incentivo fiscal durante as décadas de 1960 e 1980 (Lei 5.106/1966). O elevado crescimento e a demanda por madeira e pelos produtos florestais foi o que intensificou os plantios comerciais, predominantemente das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

3.2. MANEJO FLORESTAL

O manejo florestal pode ser classificado como o planejamento, avaliação de estratégias e aplicação de técnicas, tendo como objetivo a garantia da eficiência, sustentabilidade e segurança no cultivo, produção e extração de produtos florestais, sendo eles madeireiros e não madeireiros (KERSHAW JR. et al., 2017). O manejo florestal engloba uma série de atividades visando garantir o atendimento dos objetivos determinados, mas também garantindo a sustentabilidade. O regime de manejo e a idade de corte final devem ser definidos conforme o objetivo da produção madeireira (GOMES et al., 1998).

De acordo com Grodsky, Moorman e Russel (2016), os plantios florestais devem prever o mínimo de impacto possível ao ecossistema local, bem como a conservação do solo e dos recursos hídricos. As florestas plantadas e devidamente manejadas são um recurso renovável que produzem matéria prima visando o mínimo de desperdício energético e contribuindo para a estabilidade dos ecossistemas, assim como diminuem a pressão do desmatamento nas florestas nativas (CRUZ, 2021). Além da grande importância no ponto de vista ecológico, as florestas plantadas e manejadas são fonte de renda para os produtores, geram empregos diretos e indiretos e contribuem com o desenvolvimento de diversas regiões do país, representando e contribuindo com aproximadamente 1,2% do produto interno bruto (PIB) do Brasil e 6,2% do PIB industrial (MDIC, 2018).

A produtividade de um povoamento florestal depende da espécie, da idade, do sítio e da densidade do povoamento e das intervenções que esta floresta é submetida ao longo do seu ciclo. Existem diversas intervenções possíveis para serem feitas em plantios florestais, como o plantio em si, com espaçamento inicial adequado e as atividades que seguem a implantação, as quais englobam controle de mato competição e de formigas cortadeiras, assim como desbastes, podas e corte final, dentre outras. A escolha do momento ideal para a realização de cada intervenção é a principal tarefa do planejamento de manejo florestal (BETTINGER, 2017). Sendo uma técnica de planejamento, o manejo florestal deve ser feito para que se atinja os objetivos estabelecidos, como produtividade e rentabilidade econômica, ao mesmo tempo que seja mantida sanidade dos indivíduos e dos outros organismos que compõe o ecossistema florestal, bem como a conservação do solo.

3.2.1.Desbastes

Entre os atributos que podem ser alterados na floresta, a densidade de indivíduos por unidade de área impacta diretamente no crescimento em diâmetro. No Brasil, povoamentos de *Pinus elliottii* são plantados com uma densidade de 1.500 até 2.500 de árvores por hectare, esta elevada densidade gera uma madeira de má qualidade e de pequena dimensão por causa da falta de manejo (SPATHELFL, SELING, 2000).

Quando um povoamento florestal é submetido ao desbaste, ocorre maior crescimento individual em diâmetro das árvores remanescentes, devido maior espaço disponível para o desenvolvimento (WEBER et al., 2013). Os desbastes propiciam um aumento do ganho econômico, pela obtenção de multiprodutos que podem ser obtidos com o aumento das dimensões (DAVID et al., 2017; SCHNEIDER, 2008). Além disto, os desbastes são capazes de modificar a estrutura do povoamento. No gênero *Pinus*, os desbastes destacam-se como uma das mais importantes alternativas silviculturais que influenciam no crescimento e produção das árvores, nas dimensões, qualidade e densidade do povoamento (SCOLFORO, MACHADO, 1996).

Conforme a seletividade os desbastes são classificados como sistemático, seletivo ou misto, com uma combinação de ambos. Outro critério de seleção é em relação a qualidade dos indivíduos a serem removidos, sendo por baixo ou pelo alto (SMITH et al., 1997). A intensidade de desbaste, por sua vez, define o percentual de volume e área removida em um povoamento e o remanescente considerando o estoque de crescimento futuro (CAMPOS e LEITE, 2017). A escolha das árvores e a intensidade que será desbastada são decisões complexas, a serem tomadas de forma criteriosa (GOMIDE et al., 2014). De acordo com Flufke et al. (1996) desbastes com maior intensidade podem provocar perdas no crescimento em volume. O equilíbrio entre as perdas de crescimento volumétrico e o lucro gerado pelo incremento em sortimentos mais valiosos é a base para a determinação da intensidade adequada de desbaste (ASSMANN, 1970).

Além destas abordagens, os desbastes ainda podem ser classificados quanto aos aspectos econômicos da operação (BONAZZA et al., 2020). No desbaste pré-comercial, não se tem aproveitamento das árvores derrubadas, sendo assim, sem a geração de receita para subsidiar os custos de operação (SPINELLI, 2004). A madeira obtida das árvores submetidas a este desbaste possui características e dimensões inferiores, em relação a de árvores com idades mais avançadas (MORAES, 2019). O desbaste pré-comercial tem como objetivo, majoritariamente, os benefícios futuros dados pelo estímulo de

crescimento das árvores remanescentes. Os desbastes comerciais, por sua vez, além de contemplar o ponto de vista de manejo, visam também gerar receita pela madeira colhida (BONAZZA et al., 2020).

De acordo com Spathelfl e Seling (2000) maioria das empresas florestais trabalha com dois até quatro desbastes. Normalmente, o primeiro e segundo desbastes determinam a quantidade e qualidade da madeira a ser esperada no corte final (ALVES, 1982). As estratégias de manejo a serem aplicadas diferem-se tecnologicamente e em nível econômico, levando em consideração as demandas do mercado nacional e internacional. De acordo com a definição do momento e da intensidade do primeiro desbaste podem ser fundamentadas em simulações de cenários hipotéticos de custos, maior lucro, amortização de custos ou, simplesmente, ausência de receita.

3.2.2.Regimes de manejo

Visando atender as demandas do mercado, deve-se escolher o regime de manejo adequado para cada finalidade de uso final da madeira. O planejamento se dá desde a implantação, pela escolha da espécie e o número de indivíduos a ser implantado na floresta, seguido pelas intervenções realizadas e sua intensidade e idade de ocorrência, como por exemplo podas e desbastes, considerando até a idade final da rotação (AHRENS, 1992).

Os ciclos mais empregados hoje nos plantios do gênero *Pinus* são curtos, levam entre 14 e 20 anos da implantação da floresta ao corte final. Pratica-se por exemplo o regime com dois desbastes e corte final entre 18 e 20 anos (REMASA, 2016) ou sem desbastes e corte final com 17 anos (WESTROCK, 2017). Neste intervalo de idade, em geral, os indivíduos ainda não possuem uma quantidade significativa de madeira adulta, sendo a maior parte do lenho formada por madeira juvenil. A madeira juvenil em maior proporção gera características físicas e mecânicas inferiores, tratando-se da resistência e estabilidade dimensional, o que influencia tem influência direta no potencial de utilização (SANTINI et al., 2000).

Segundo com Dobner Júnior, Huss e Tomazello Filho (2018), até os ciclos de produção mais longos, com 30 anos, tem como resultado toras com 60-80% de madeira juvenil. Sendo assim, tendo como objetivo a produção de madeira adulta, deve-se considerar ciclos ainda mais longos. Juntamente com a duração do ciclo de produção da

floresta, é necessário aliar estratégias baseadas no conhecimento do comportamento dos povoamentos florestais, da fisiologia da espécie implantada e planejamento de manejo adequado.

A madeira destaca-se como uma matéria prima nobre, de alta versatilidade e resistência (GONZAGA, 2006). Possui características heterogêneas, tanto aos aspectos visuais e estéticos quanto ao que tange suas propriedades físicas e mecânicas. A escolha da aplicação da madeira como matéria prima deve levar em consideração toda a heterogeneidade e características particulares, para que a produção seja corretamente dimensionada e direcionada com o objetivo de gerar um produto que expresse desempenho satisfatório. No Brasil, atualmente são praticados três regimes de manejo para *Pinus* spp: *Pulpwood, Utilitywood e Clearwood*.

No regime *Pulpwood*, tem-se a madeira com destino direcionado a indústrias de papel, celulose e de painéis reconstituídos (SCOLFORO, 1997), bem como, podendo ser matéria prima para a produção energética por meio da biomassa florestal. De acordo com Gomes (1995), neste regime de manejo o ciclo produtivo não possui desbastes nem envolve poda das árvores, na sua implantação o plantio é mais adensado e o corte raso é em torno dos 15 anos, tratando-se do gênero Pinus.

No *Utilitywood*, o ciclo produtivo tem a partir de 20 anos, com dois a três desbastes e a presença de podas, para a obtenção de toras em diâmetros distintos, atendendo assim, mercados variados e a produção da madeira para uso múltiplo (SCOLFORO, 1997). Em geral a madeira produzida neste regime de manejo, pode ser considerada como pertencente a uma classe intermediária, utilizada pela indústria de serrados e compensados (STALL, 2012). De acordo com Santos (2015), este regime é o mais comum nas empresas florestais brasileiras.

De acordo com Maestri (1994) no regime de manejo *Clearwood*, o objetivo é a produção de madeira de maiores dimensões e sem a presença de nós. Neste regime é gerada madeira de maior valor agregado, a ser utilizada nas indústrias laminadoras e de compensados. As técnicas produtivas mais adequadas para produção de madeira *Clearwood* envolvem a adoção de espaçamentos iniciais mais amplos entre das árvores na floresta, a realização dos desbastes pré-comerciais e poda artificial, obtendo então produtos nobres e de maior qualidade (SCOLFORO, 1998).

3.2.3. Multiprodutos gerados no manejo florestal

O gênero *Pinus* é uma matéria prima muito versátil, exercendo um importante papel na região Sul do Brasil, no fornecimento de matéria-prima para indústrias de celulose, laminados, painéis compostos e, em alguns polos da Região, como o principal recurso madeireiro das indústrias de móveis (MURARA JUNIOR, ROCHA, TRUGILHO, 2013).

A celulose, produto cujo Brasil destaca-se como o segundo maior produtor mundial (IBÁ, 2023), justificado pelas condições edafoclimáticas favoráveis ao estabelecimento de florestas plantadas e ao longo histórico de investimento em pesquisa e desenvolvimento que acarretaram um aumento da produtividade. A celulose costuma ser classificada diante do comprimento de fibra, processo de fabricação e destinação. De acordo com Vidal e Hora (2014), a celulose de fibra curta tem como matéria prima as angiospermas, conhecidas popularmente como folhosas, já a celulose de fibra longa é produzida com madeira de gimnospermas, as coníferas, o tamanho da fibra, portanto traz propriedades indicadas para determinados tipos de papel. Pinus é a principal fonte de matéria-prima de fibra longa para produção de papéis, principalmente destinados a embalagens (ANDRADE, 2006).

O processo de transformação de uma tora de madeira de seção circular em peças de seções retangulares e quadradas é chamado sistema de desdobro (JUNIOR, ROCHA, TRUGILHO, 2013). O processo de desdobro da madeira gera resíduos, que podem ser reaproveitados e sair da serraria como matéria-prima para produção de pasta e celulose e chapas de composição, bem como promover a auto-suficiência energética da própria indústria (FONTES, 1994).

Diante da escassez e encarecimento da madeira maciça, surgiram os painéis de madeira. Os principais usos e aplicações dos painéis de madeira estão associados principalmente aos segmentos da construção civil e de móveis, em função das suas características tecnológicas (ABIMCI, 2009). As principais matérias primas para a produção dos painéis são cavacos de madeira, provenientes de florestas plantadas de pinus e eucalipto.

No Brasil, os primeiros registros sobre laminados, trazem a espécie *Araucaria angustifolia* como matéria prima devido às suas características, mas a escassez decorrente da exploração inadequada e incontrolada fez com que as indústrias apostassem no uso de

outras madeiras (SANTOS et al., 2015). Um exemplo de novas opções é a madeira de *Pinus* spp, proveniente de florestas plantadas, que começou a ser utilizada, em escala comercial até se tornar a principal matéria-prima neste setor (BONDUELLE, et al., 2006).

Além dos multiprodutos madeiráveis que o gênero *Pinus* produz, há também um subproduto florestal não madeireiro de alto valor agregado no mercado que é a resina. Esse produto é uma complexa mistura de terpenos produzida por células especiais dedicadas às defesas da árvore (NEIS et al., 2019). A resina é extraída por meio de estrias abertas na casca até o câmbio, porém sem atingir a madeira, nessas aberturas são colocados coletores presos as árvores.

De acordo com Medeiros (2017), a resina possui grande importância social e econômica, pois seus componentes têm diversas aplicações. A fração líquida da resina se chama terebintina e a fração sólida denominado breu, ambas possuem diversas utilizações nas indústrias químicas (LIMA, 2016). A resina é um produto sustentável, de uso múltiplo e abundante. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de resina de *Pinus* spp. (IBGE, 2019). Segundo a Associação dos Reinadores do Brasil, no ano de 2018, o país teve uma produção total 185.692 toneladas de resina (ARESB, 2018).

Segundo Soares et al. (2003), os valores obtidos indicaram que a colheita florestal, visando ao sistema de uso múltiplo, apresenta mais lucro que o uso único. Desta forma, a utilização da madeira em multiprodutos, apresenta-se como a melhor alternativa em termos econômicos e de remuneração vinda de plantios florestais.

3.3. MENSURAÇÃO FLORESTAL

A quantificação do potencial madeireiro, realizada a partir de informações provenientes de inventários florestais, apresenta-se como uma atividade importante em termos de planejamento da produção florestal (NAKAJIMA et al., 2011). O Inventário Florestal é uma atividade que utiliza técnicas de estatística e amostragem para determinar parâmetros dendrométricos e levantar informações sobre um povoamento, sendo realizado na determinação de fatores qualitativos e quantitativos de uma floresta (CUNHA, 2004).

Basicamente, os inventários florestais podem ser de três tipos: Inventário de reconhecimento ou diagnóstico, Inventário a 100% ou pré-exploratório e Inventário contínuo (ARAÚJO, 2006). No inventário a 100%, o censo, tem-se o objetivo de determinar, com elevado grau de precisão, o estoque de madeira existente nas áreas sob

manejo com a finalidade de subsidiar o planejamento da exploração. Apesar do censo com mapeamento de árvores gerar informações acuradas, esta abordagem demanda mais recursos, quando comparado aos inventários realizados por amostragem (SOUZA e SOARES, 2013). Tendo sua indicação para populações pequenas e com a necessidade de conhecer cada indivíduo e sobretudo, para espécies de maior valor agregado ou indivíduos de maiores dimensões.

As variáveis dendrométricas obtidas pelos inventários florestais tem a finalidade de servir de base para a determinação de parâmetros sobre a floresta. Dentre as principais variáveis florestais mensuradas, encontram-se os diâmetros dos fustes, estes medidos a 1,30 m do solo e a altura das árvores (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB, 2019). Destaca-se o diâmetro como uma variável de fácil mensuração, porém, tratando-se de alturas a obtenção de seus valores é mais difícil. Ainda assim, há uma correlação forte entre essas variáveis. A relação hipsométrica possibilita conhecer a altura das árvores indiretamente, reduzindo o tempo e o custo do levantamento de dados no inventário florestal (RIBEIRO et al., 2010).

De acordo com Nicoletti et al. (2016), a modelagem hipsométrica torna o processo de inventário mais rápido e econômico, isto porque não se faz necessário a mensuração de todas as alturas dentro das unidades amostrais, além de ter um bom resultado em termos de precisão dos dados obtidos. Similar às equações hipsométricas, tem-se as equações volumétricas, que por sua vez, são uma opção mais precisa para a obtenção do volume dos indivíduos quando comparada a utilização do fator de forma artificial, uma vez que podem ser obtidas por meio do processamento e regressão dos dados de diâmetro e altura para o povoamento ou amostras (CERDEIRA, 2012).

De acordo com Topanotti (2020), as árvores reduzem o diâmetro ao longo do fuste com o aumento da altura, o que pode ser chamado de afilamento, determinado por uma função matemática que expressa essa variação ao longo do comprimento do tronco. Conforme Souza (2007), as funções de afilamento se constituem em uma excelente opção para quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais. Por meio dos modelos de afilamento é possível determinar o volume em diferentes partes das árvores e determinar o formato do fuste, variáveis estas, com influência direta na quantidade e qualidade dos produtos finais a serem obtidos. A descrição e a classificação dos fustes, de acordo com a qualidade e dimensões garante além da classificação física, a melhor valorização e remuneração da madeira, com a destinação de toras de diversos diâmetros ao mercado específico (SOUZA et al., 2008).

O sortimento florestal resume a avaliação comercial quantitativa e qualitativa da floresta, para a obtenção de multiprodutos, constituindo uma ferramenta para tomada de decisões referentes ao manejo florestal (ARCE, 2000). Assim como uma única árvore pode ser utilizada apenas para a produção de um determinado produto, ela pode ser matéria prima para uma grande variedade de produtos, para os quais existem valoração econômica e demanda diferentes. Conhecer como se desenvolve o sortimento de um povoamento ao longo de seu ciclo é importante para a potencialização dos lucros, garantir o melhor aproveitamento da madeira aliado a diminuição no volume de resíduos.

Das análises físicas que podem ser realizadas em uma floresta, ainda em termos de mensuração, há a análise de tronco, podendo ela ser parcial ou completa. Na análise parcial a coleta de amostras é com o indivíduo em pé, isto é, de forma não destrutiva, com auxílio de rolo de incremento (TOPANOTTI, 2020). A análise completa envolve a contagem dos anéis por discos de árvores abatidas com esta finalidade (FINGER, 2006). Os anéis de crescimento são formados anualmente pelo crescimento da madeira, sendo assim, a contagem feita na seção transversal fornece a idade total da árvore (PUNCHES, 2004).

3.3.1.Modelagem e crescimento da produção

De acordo com Maestri (2013), a modelagem do crescimento e produção florestal é uma ferramenta matemática para a representação da dinâmica natural de um povoamento florestal, permitindo análises do comportamento da floresta sob determinadas condições. Quando usados em conjunto com a análise econômica, ajudam a fornecer ao engenheiro florestal a base para a escolha do manejo a ser empregado (RENNOLS; PEACE, 1986).

Para a prognose do crescimento e da produção de madeira, existem diferentes tipos de modelos matemáticos consagrados na literatura, entre os quais se destacam os do tipo povoamento (CAMPOS, LEITE, 2009). De acordo com Bergamin Filho (1978) um modelo é uma aproximação simplificada da realidade sem significar a própria realidade e sem se construir uma réplica dela. O termo modelo de crescimento refere-se a um sistema de equações, que tem capacidade de predizer o crescimento e a produção de povoamentos florestais sob considerando diversas condições (VANCLAY, 1994). O crescimento e a produção de um povoamento florestal dependem da idade (I), da capacidade produtiva (S) e do grau de utilização do local (CAMPOS e LEITE, 2009).

O modelo de Chapman-Richards possui as características adequadas para o ajuste do crescimento de qualquer variável biológica, descrevendo o início de crescimento na origem (TEMPS, 2005). De acordo com Sanquetta et al. (2016), isso se dá pelo seu potencial explicativo dos processos biológicos por trás das expressões matemáticas, ou seja, o realismo biológico. Segundo Machado et al. (1997), no modelo de Chapman-Richards, o coeficiente β_0 indica o valor assintótico, ou seja, o máximo que a variável Y que está sendo predita pode atingir.

Sendo amplamente indicado no meio florestal e capaz de gerar estimativas acuradas (Schuchovski et al., 2019), estimativas geradas ao longo do ciclo de vida das florestas plantadas são imprescindíveis para o planejamento e a correta destinação dos produtos oriundos da floresta.

3.4. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS FLORESTAIS

A aplicação da análise econômica na área florestal é de suma importância para decisões relacionadas ao manejo, mais especificamente, a determinação da idade econômica de corte, o espaçamento, época e intensidade de tratamentos silviculturais entre outras decisões, podem ser adotados de forma mais segura quando feitas as simulações baseadas em critérios econômicos (LOPES, 1990). Os critérios de avaliação econômica de projetos florestais levam em conta a variação do capital em função do tempo.

Silva et al. (2005) afirmaram que avaliação dos projetos florestais deve basear-se no fluxo de caixa, que consiste nos custos e nas receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento. Segundo Kassai et al (2012), os fluxos de caixa podem ser de três tipos: nominais, onde as entradas e saídas são valores correntes na época da sua realização, constantes, onde os fluxos de caixa têm um mesmo padrão monetário, retirando-se a influência da inflação, e descontados, onde todos os valores encontram-se descontados para o presente por meio de uma taxa de desconto.

Tratando-se de plantios florestais deve-se levantar em consideração os custos de implantação, manutenção, desbaste, colheita e administração, bem como as receitas oriundas tanto dos desbastes quanto do corte final (SCHNEIDER, 2004). Silva et al (2005) afirmam que é possível ainda a inclusão de custos relacionados a depreciação de máquinas e implementos utilizados na atividade florestal. Há ainda a possibilidade de

inclusão ou não do custo da terra nos custos de produção da madeira (REZENDE et al., 1996). Em seus trabalhos, Boulding (1955) e Duer (1972) não utilizaram o custo da terra na determinação da rotação, baseando-se no fato de que como a empresa já possui a terra, não haveria necessidade de calcular custos, pois não haverá custo de oportunidade, ou ele será muito baixo comparado a outros fatores. De acordo com Rodrigues et al. (1999), os investimentos para aquisição de terra para utilização florestal são elevados, portanto, estes custos são importantes na avaliação econômica. O custo de oportunidade é o custo alternativo ou retorno que poderia ser obtido caso os investimentos tivessem outra aplicação (LOPES et al, 2008).

Na técnica do Valor Presente Líquido (VPL), avalia-se o fluxo de caixa do investimento. Faber (2019) definiu o VPL como aquele que compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros que mede o custo de capital. Os fluxos de caixa sofrem desconto conforme as taxas de juros impostas sobre a moeda em determinado período. A viabilidade do projeto é dada quando o VPL é maior a zero, indiferente quando é igual a zero e inviável quando o valor é negativo. Para projetos diferentes serem comparados com VPL é necessário que haja semelhança entre suas características e o período de duração seja igual (FABER, 2019). Quando são comparados projetos que possuem durações diferentes, uma das alternativas é o VPL infinito, que é o VPL calculado para a replicação de um projeto para um horizonte infinito e que considera o custo da terra no cálculo (SILVA; FONTES, 2005)

Outro indicador utilizado como comparativo financeiro é a Taxa Interna de Retorno (TIR). De acordo com Noronha (1987), a TIR é o valor da taxa de desconto que torna o VPL igual a zero. Sendo assim, a escolha de um projeto com viabilidade ocorre se o valor da TIR for superior ao custo de oportunidade do capital (SILVA et al, 2005). Para o cálculo da taxa interna de retorno de um determinado tratamento florestal, todas as receitas e despesas, começando com o plantio do povoamento até o fim da rotação, são consideradas (SPATHELFL, SELING, 2000). É possível comparar a TIR com a Taxa Mínima de Atratividade - TMA de modo que, se a TIR for maior que a TMA, o projeto é viável, se for igual é indiferente, e se a TIR for inferior a TMA, o projeto é inviável (DINARDI, 2014).

A TMA é utilizada para descontar os valores do fluxo de caixa para calcular o VPL e é definida como a taxa mínima a ser alcançada por determinado projeto para que ele seja considerado viável (KASSAI et. al, 2012). Quando se trata um investimento com

financiamento, a TMA reflete a taxa de juros adotada pela instituição financeira, seja para a aplicação do mesmo valor investido em um fundo qualquer, ou a taxa de juros para o empréstimo daquele determinado valor (FARR; FABER, 2019). A taxa de juros aplicada na utilização do capital, é um critério muito importante nas avaliações econômicas, pois permite a equivalência de valores em tempos diferentes (SILVA et al., 2005).

A Taxa Mínima de Atratividade – TMA pode ser real ou nominal. Em projetos florestais, devido à longa duração e dificuldade de se prever preços nominais no futuro, geralmente são realizadas utilizando fluxos de caixa a preços constantes, devendo ser descontados por uma TMA real (KLEMPERER, 1996). A adequação do tipo de TMA utilizado ao fluxo de caixa construído é um passo fundamental para uma correta avaliação da atratividade financeira do empreendimento florestal.

De acordo com Silva e Fontes (2005), o Valor Anual Equivalente (VAE), é definido como a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL do investimento analisado, ao longo do projeto ao longo de sua vida útil. A viabilidade do projeto é dada quando se tem VAE positivo. Como comparativo entre projetos, deve ser escolhida a que apresentar maior VAE, considerando mesmas taxas (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi conduzido na Floresta Nacional (FLONA) de Três Barras, atualmente administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Originalmente chamada Fazenda dos Pardos, e comprada pelo INP – Instituto Nacional do Pinho no ano de 1944, a FLONA de Três Barras situa-se no Planalto Norte Catarinense, em região de Floresta Ombrófila Mista com altitude variando entre 730 e 800 metros, ocupando uma área de 4.459 ha com cobertura vegetal constituída por fragmentos de Floresta Ombrófila Mista Montana, matas ciliares, campos de várzeas e reflorestamento de *Pinus* spp., *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, *Eucalyptus* spp. e *Ilex paraguariensis* St. Hil. (KLOC et al., 2019).

Os dados utilizados são oriundos de 4 talhões de *Pinus elliottii* implantados no ano de 1963 com espaçamento inicial de 2 x 2 m (2500 árvores por hectare), a área total de plantio da espécie possui 8,95 hectares, dividida como mostra a Tabela 1. Estes talhões fazem parte do projeto base de exploração de espécies exóticas da Flona conforme aprovado no seu plano de manejo e que seriam áreas prioritárias para o corte raso e futuras instalações de experimentos.

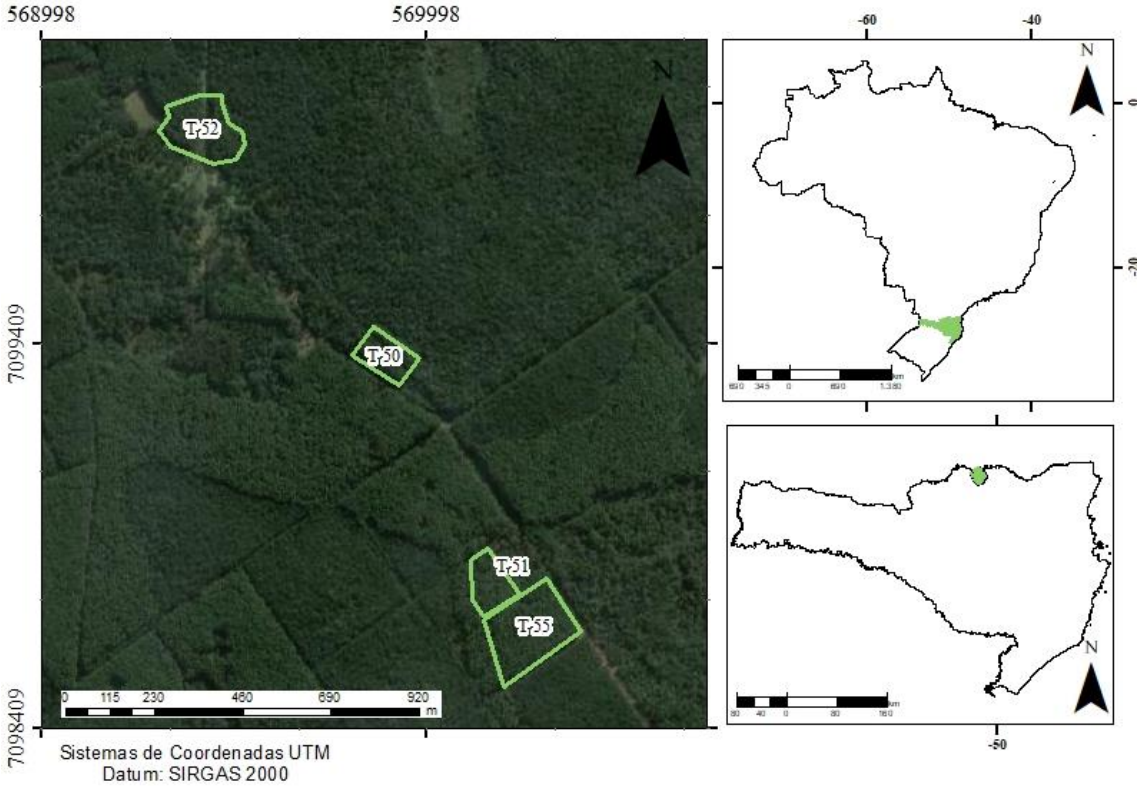
Tabela 1 - Área dos talhões de *Pinus elliottii* implantados no ano de 1963 na Floresta Nacional de Três Barras.

Talhão	Área (ha)
T-50	1,42
T-51	1,33
T-52	2,48
T-55	3,72
Total	5,23

Fonte: A autora (2023).

Na Figura 1 é possível observar a espacialização dos talhões na Flona e no município de Três Barras.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no planalto norte catarinense e delimitação dos quatro talhões estudados.



Fonte: A autora (2024).

4.2. HISTÓRICO DO POVOAMENTO

Segundo o histórico obtido nos arquivos de manejo da unidade de conservação, os talhões tiveram sua implantação no ano de 1963 e submetidos a 4 desbastes, sendo o primeiro em 1969, o segundo em 1977, o terceiro em 1986 e o último desbaste realizado no ano de 1999, quando a floresta tinha 36 anos e desde então não foram submetidos a nenhuma outra intervenção. Esses desbastes foram realizados de forma mista, isso é, tanto de forma seletiva quanto sistemática, com uma intensidade de aproximadamente 50% das árvores, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Alteração da densidade de árvores na floresta em função das operações de desbastes realizadas ao longo dos anos.

Operação	Idade (anos)	Ano	$N.ha^{-1}$remanescente
Plantio	0	1963	2.500
Desbaste	6	1969	1.250
Desbaste	14	1977	625
Desbaste	23	1986	380
Desbaste	36	1999	170

Fonte: Pinto (2022), Galeski (2022).

Por tratar-se de um povoamento com idade mais avançada em relação aos plantios comerciais normalmente manejados pelas empresas, há possibilidade da ausência de algum dado referente ao seu histórico, além de que as datas indicadas dos desbastes realizados podem não ser precisas, sendo assim, haver a diferença do número e intensidade de intervenções entre os talhões.

Dos indivíduos presentes nessa área, tem-se o censo dos dados de dap (diâmetro medido à 1,30 m do solo) no ano de 2013, ano em que foi realizado também a marcação com placas metálicas de todos os indivíduos e a medição das alturas de 156 árvores, por volta de 10% do total e a cubagem rigorosa de 23 indivíduos pelo método relativo de Hohenadl com 10 seções.

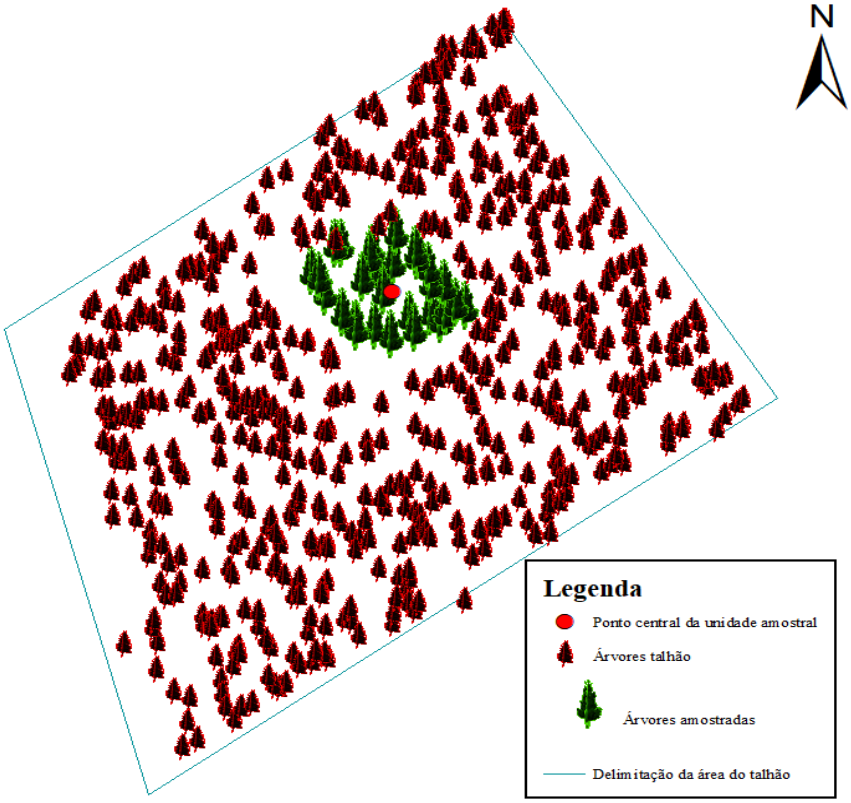
Neste método, o comprimento da seção ou tora representa um percentual do comprimento total da árvore, permitindo a comparação dos volumes individuais de árvores de tamanhos diferentes, porém com a mesma forma (CABACINHA, 2003). O comprimento de cada uma das seções, geralmente fica entre 1 e 2 metros, mas pode-se usar valores proporcionais ao comprimento do fuste, como proposto por Hohenadl (Sanquetta et al., 2014).

No ano de 2021 realizou-se o segundo censo da mesma forma que no ano de 2013, além disso foram cubadas mais 8 árvores e todos os indivíduos foram georreferenciados por meio de GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação. Além da medição de variáveis dendrométricas e posteriormente a extrapolação das médias por hectare de cada talhão, foi realizada a estimativa de importantes parâmetros como área basal, número de árvores por unidade de área, diâmetro médio, diâmetro médio quadrático, incremento periódico anual (para todas as variáveis estudadas) e taxa de mortalidade dos indivíduos.

Em 2021, no Talhão 55 (maior dentre os estudados), com área de 3,72 hectares, foi realizada uma coleta de rolos de incremento de alguns indivíduos, com a seleção pelo

método de Bitterlich (Figura 2), utilizando um fator de área basal (K) de 1,5 e incluindo 29 árvores, neste caso, contemplando a distribuição diamétrica da floresta. Bitterlich é um método de amostragem relativo, que consiste na contagem angular de árvores em um giro de 360º, cujos diâmetros à altura do peito são maiores ou igual a abertura angular do relascópio. A recomendação de Machado e Figueiredo Filho (2014), é que o fator de área basal (K) adequado de Bitterlich inclua de 20 a 30 árvores em um giro de 360º. A escolha desta metodologia se deu para concentrar o trabalho de campo para a coleta dos rolos de incremento, próximo a um ponto específico do talhão, principalmente para otimizar o descolamento ocioso no talhão.

Figura 2 - Representação da distribuição espacial das árvores do Talhão 55 com ênfase as 29 árvores amostradas para a coleta de rolos de incremento.



Fonte: Pinto (2022).

Ainda nesta medição, realizou-se a coleta de rolos de incremento, sendo 3 coletas de cada árvore perpendiculares na altura do DAP. Foram coletadas amostras de todas as 29 árvores contempladas no giro de Bitterlich e de uma árvore com diâmetro médio quadrático de cada talhão, totalizando uma amostra de 33 árvores. Procedeu-se coleta de rolos de incremento visando o desenvolvimento da análise de tronco parcial com auxílio

do Trado de Pressler. Como os rolos de incremento são pequenas amostras não destrutivas em que se é possível visualizar os anéis de crescimento, com a análise é possível reconstituir o crescimento passado e inferir sobre as tendências de crescimento futuras desses indivíduos. Para preparar as amostras dos rolos de incremento, os mesmos foram fixados em suportes de madeira e lixados com abrasivo de 100 e 180 grãos/cm² (Figura 3).

Figura 3 - Visualização dos anéis de crescimento nas amostras não destrutivas já preparadas.

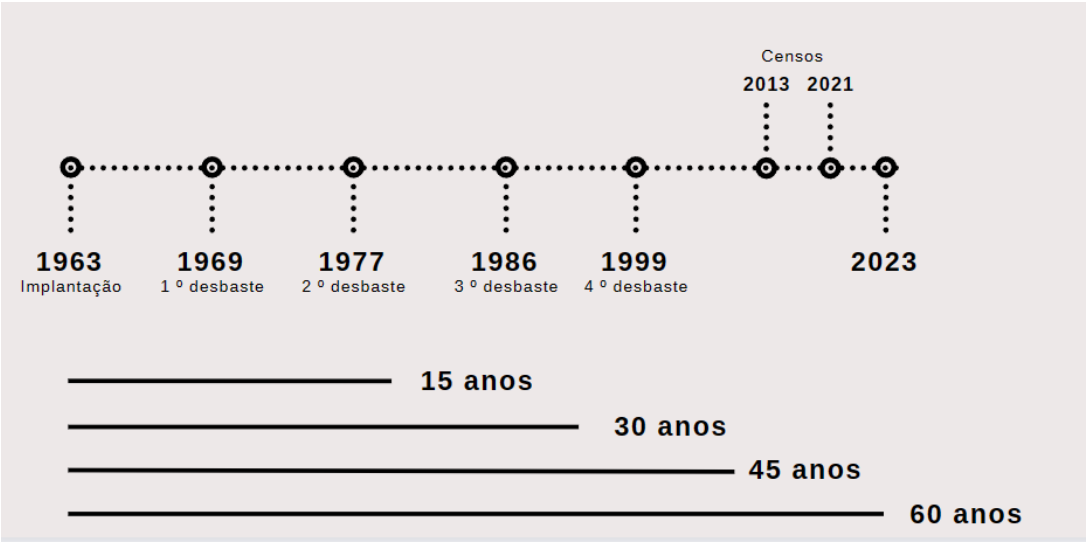
Fonte: A autora (2024).

Posteriormente, as amostras foram digitalizadas com scanner profissional com 1200 dpi de resolução e mensuradas no aplicativo IMAGE PRO PLUS, para realizar a contagem dos anéis de crescimento dos rolos de incremento.

4.3. MODELAGEM DOS DADOS

De modo a estabelecer um comparativo entre ciclos de diferentes idades para corte final, foram definidas quatro idades, 15, 30, 45 e 60 anos. A escolha justifica-se principalmente pela possibilidade de criar comparativos com o mesmo horizonte de planejamento, devido a todos os cenários serem múltiplos de 15. Para as quatro idades de corte raso, foram considerados as mesmas idades de desbastes implementadas no desenvolvimento da floresta, ou seja, para a rotação de 30 anos três desbastes, e para as rotações de 45 e 60 anos quatro desbastes, como mostra a linha do tempo na Figura 4.

Figura 4 - Linha do tempo do manejo e ciclos estabelecidos para modelagem.



Fonte: A autora (2024).

Um ponto a ser indicado é que na idade 14 anos o povoamento foi submetido a um desbaste, porém não foi realizada a estimativa das variáveis nesta idade por conta da proximidade com o primeiro cenário de corte, aos 15 anos. Sendo assim, considerou-se no cenário de corte raso aos 15 anos considerou-se apenas um desbaste, nos demais cenários foi considerado o décimo quinto ano da floresta como o que ocorreu o segundo desbaste.

4.3.1.Estimativa do desenvolvimento do DAP

A partir dos dados obtidos por meio reconstituição dos diâmetros pela análise de tronco parcial, procedeu-se o ajuste do modelo de Chapman-Richards (1). Posteriormente, realizaram-se estimativas dos diâmetros para as idades em que se realizaram os desbastes (6, 15, 23 e 36 anos) e o corte final (15, 30, 45 e 60 anos).

$$Y = \beta_0 \left(1 - e^{(-\beta_1 I)}\right)^{\left(\frac{1}{\beta_2}\right)} \quad (1)$$

Em que:

Y= DAP em centímetros;

I= idade em anos.

β_n = Coeficientes a estimar;

4.3.2. Estimativa hipsométrica

A partir dos diâmetros estimados para cada idade de interesse, realizaram-se as estimativas das alturas totais das árvores com base em equações disponíveis na literatura buscando idades iguais ou próximas preferencialmente para *Pinus elliottii* ou na ausência deste, para outras espécies do gênero *Pinus*. Para a idade de 6 anos, a equação hipsométrica de Assmann, utilizada foi ajustada por Nicoletti et al. (2016) em seu estudo com a *P. taeda* em um povoamento comercial localizado em Ponte Alta do Norte - SC, com diferentes idades, sendo a da equação em questão desenvolvida para 7 anos.

Para a idade de 15 anos, a estimativa foi realizada por equação ajustada por Souza et al. (2018) em uma floresta de *Pinus elliottii* localizada no município de Cerro Negro - SC, com 15 anos. Aos 23, 30 e 36 anos a equação utilizada foi ajustada por Lavrini et al. (2022), em seu estudo com a espécie *Pinus taeda* em três locais diferentes, sendo Cambará do Sul - RS, Otacílio Costa - SC e São Francisco de Paula - RS. Nas idades 45 e 60 anos, a equação utilizada foi ajustada com base no censo realizado no mesmo povoamento no ano de 2021, isto é, aos 58 anos. Na Tabela 3 estão descritos os modelos utilizados para estimativas das alturas em cada idade, bem como seus parâmetros.

Tabela 3 - Modelos, coeficientes e indicadores para cada idade estimada.

Idade (anos)	Modelo	β0	β1	β2	Syx%	R^2 ajustado
6	$h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap}$	15,76	86,51	-	8,05	0,431
15	$h = \beta_0 + \beta_1\, dap + \beta_2\, dap^2$	14,96	0,22	-0,001	6,66	0,962
23, 30 e 36	$lnh = -\beta_0 + \beta_1 \ln(dap)$	-0,35	0,95	-	6,01	0,828
45 e 60	$h = \beta_0 + \beta_1 dap$	35,24	0,07	-	8,47	0,048

Em que: h= Altura total, em metros; dap= Diâmetro à altura do peito, em centímetros. Syx%= Erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2 ajustado= Coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: A autora (2024).

4.3.3. Volume e afilamento

As estimativas da quantidade de toras e dos volumes totais foram realizadas por equações de volume ou integrais de funções de afilamento organizadas por Figueiredo Filho et al. (2014). Para a idade 6 anos foi realizada somente a estimativa de volume, pois nessa fase de desenvolvimento ainda não há muita diferença entre os sortimentos. A equação volumétrica escolhida foi a de Meyer Modificada (2), ajustada por Wendling (1978) em um povoamento de *Pinus elliottii* no munícipio de Curitibanos - SC.

$$v = \beta 0 + \beta 1 \ dap + \beta 2 \ dap^2 + \beta 3 \ dap \ h + \beta 4 \ dap^2 \mathrm{h} \qquad (2)$$

Nas idades de 15 e 23 anos, a equação de afilamento utilizada foi a do Polinômio do 2º Grau de Kozak ajustada por Téo et al. (2013) em um povoamento de *P. elliottii* no município de Caçador - SC com 18 anos. Para os 30 anos, a equação utilizada também foi a de afilamento de 2º Grau de Kozak (3) ajustada por Téo et al. (2013), porém para um povoamento de *P. elliottii* no município de Caçador -SC com 27 anos.

$$\left(\frac{di}{dap}\right)^2 = \beta 0 - \beta 1 \left(\frac{hi}{h}\right) + \beta 2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 \qquad (3)$$

Nas idades 36 e 45 anos a equação utilizada foi a do Polinômio do Quinto Grau (4) ajustada por Vivian et al. (2022) em um plantio de P. taeda com 43 anos, localizado no município de Correia Pinto, no estado de Santa Catarina.

$$\frac{di}{dap} = \beta 0 + \beta 1 \left(\frac{hi}{h}\right) + \beta 2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + \beta 3 \left(\frac{hi}{h}\right)^3 + \beta 4 \left(\frac{hi}{h}\right)^4 + \beta 5 \left(\frac{hi}{h}\right)^5 \qquad (4)$$

Para os 60 anos, utilizou-se dados da cubagem realizada nos anos de 2013 e 2021 para ajuste da função de afilamento de 2º Grau de Kozak. Na Tabela 4 estão descritos os parâmetros e coeficientes das equações, sendo na idade 6 anos para estimativa do volume com casca e nas demais idades para o afilamento.

Tabela 4 - Parâmetros e estatísticas dos modelos volumétricos ou equações de afilamento nas idades trabalhadas.

Idade	β0	β1	β2	β3	β4	β5	Syx%	R^2 ajustado	R^2
6	-0,02	0,005	-0,0002	-1E-04	0,0001	-	10,67	-	0,983
15 e 23	0,95	-1,35	0,38	-	-	-	11,5	0,911	-
30	1,21	-1,79	0,60	-	-	-	10,77	0,939	-
36 e 45	1,13	-3,11	12,87	-25,27	21,16	-6,58	6,7	0,950	-
60	0,94	-0,68	-0,28	-	-	-	11,4	0,892	-

Em que: Syx%= erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2= coeficiente de determinação.

Fonte: A autora (2024).

Para a análise do sortimento, pelo número de toras e volume gerados em cada uma das classes contempladas, considerou-se a altura do toco como 10 centímetros e o comprimento de cada tora de 2,6m. Considerou-se ainda todas as toras na mesma dimensão e a classificação delas com base o diâmetro na ponta fina, nas classes dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação das toras de 2,6 m em relação ao diâmetro da ponta fina.

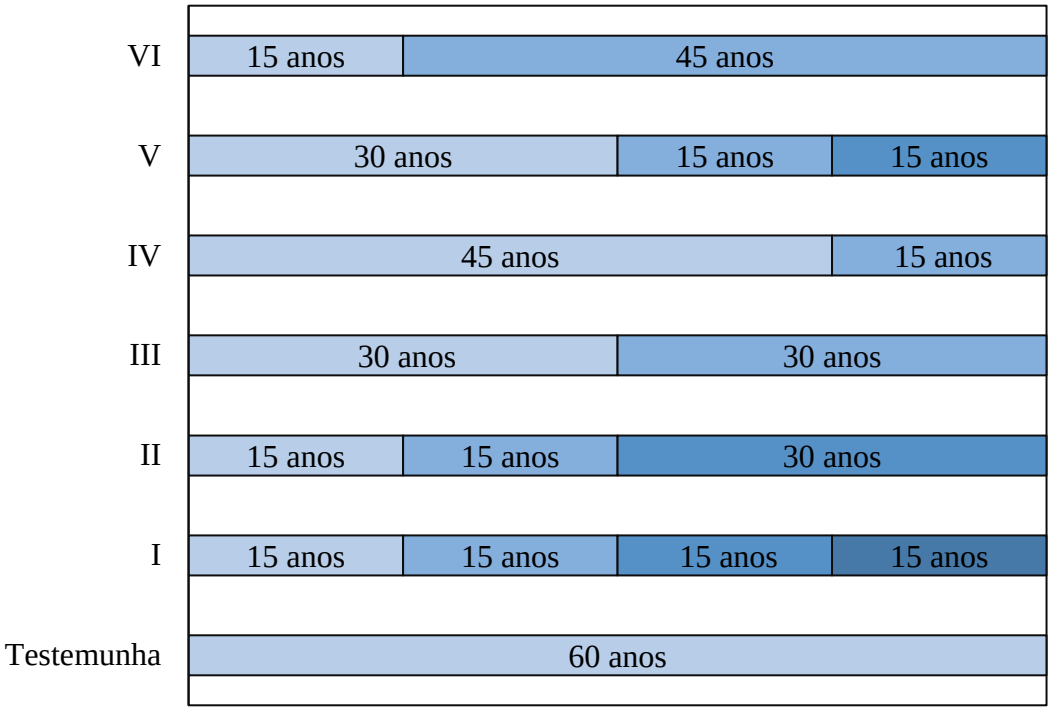
Classe	Diâmetro da ponta fina (cm)
Laminação	>35
Serraria I	25
Serraria II	18
Madeira processada	8

Fonte: A autora (2024).

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Com base nos dados obtidos por meio de mensuração e modelagem, a análise econômica considerou o horizonte de planejamento de 60 anos, em que se estabeleceu sete cenários (Figura 5), com números e disposição temporal diferentes de ciclos de corte raso, incluindo os desbastes ocorridos nestes períodos.

Figura 5 - Cenários utilizados para avaliação econômica, destacando-se as idades em anos de cada rotação.



Fonte: A autora (2024).

O cenário Testemunha é basicamente a retrospectiva do manejo dessa floresta desde sua implantação no ano de 1963 até o ano de 2023. Observa-se que os cenários II e V, assim como os cenários IV e VI são iguais entre eles ao que diz respeito ao número de ciclos e duração deles, porém diferem na organização ao longo do horizonte de planejamento.

As análises financeiras foram feitas com base em três TMAs nominais, isto é, sem considerar a inflação ou outros fatores que afetem o poder de compra do dinheiro no futuro, sendo elas 3%, 5% e 7%. Com o estabelecimento de fluxos de caixa para cada um dos cenários, para cada uma das taxas.

Para a montagem dos fluxos de caixas foram considerados os custos de silvicultura e de administração utilizados por Heberle (2024) em seu trabalho com *P. taeda*

implantado no ano de 1986 no município de Campo Belo do Sul/SC e para o valor da terra foi considerado o custo de oportunidade da terra em função das diferentes taxas de juros utilizadas, aplicado a cada ano assim como o estudo de Oliveira (2024) com a espécie *Cupressus lusitanica* em Campo Belo do Sul. Os custos estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Custos utilizados para as atividades descritas na construção dos fluxos de caixa para cada um dos cenários de manejo ao longo do horizonte de planejamento.

Atividade	Idade (anos)	Custo	
Custo da terra	0	22.400	R$/ha
COT - 3%	todos	672	R$/ha
COT - 5%	todos	1.120	R$/ha
COT - 7%	todos	1.568	R$/ha
Preparo de solo e plantio	0	3.744	R$/ha
Tratos culturais	1-3	500	R$/ha
Administração	todos	400	R$/ha

Em que: COT - 3%= Custo de Oportunidade da Terra multiplicado pela TMA de 5%; COT - 3%= Custo de Oportunidade da Terra multiplicado pela TMA de 5%; COT - 7%= Custo de Oportunidade da Terra multiplicado pela TMA de 7%

Fonte: Heberle (2024) e Oliveira (2024).

Para a elaboração do fluxo de caixa, foram consideradas as receitas, com base na comercialização das toras oriundas dos sortimentos avaliados. A precificação está disposta na Tabela 7.

Tabela 7 - Preço da madeira por classe de sortimento, considerando três fontes.

Classe de sortimento	Preço (R$/m³)		
	A	B	C
Laminação	260	331,2	574
Serraria I	190	263,3	504
Serraria II	160	178,7	165
Madeira processada	90	88,7	120,0
Valor médio	175	215,5	414,3

Fonte: A autora (2024).

Os preços “A” são da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – Seab/PR (2024), de acordo com o Compilado de Preços de Produtos Florestais, referência de fevereiro de 2024, para o município de União da Vitória/PR, o qual fica a uma distância de aproximadamente 100 km de Três Barras/SC. Os preços “B” são de União da Vitória/PR oriundos do Boletim de Preços do Mercado Florestal de março de 2023 (Holtz, 2023). Os preços “C” foram utilizados por Heberle (2024), em seu estudo com *P. taeda* com grandes dimensões e considerando um mercado diversificado, neste caso pois a madeira de Serraria I e Laminação são consideradas lâminas de Pinus, isto é, madeira livre de nós, o que atende um mercado diverso e agrega valor ao produto.

4.4.1 Critérios de Avaliação Econômica

Foram utilizados os seguintes critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR).

O Valor Presente Líquido (VPL) (5) de um projeto pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em resumo, é a soma do valor presente das receitas menos a soma do valor presente dos custos.

$$VPL = \sum_{j=0}^{n} Rj(1+i)^{-h} - \sum_{j=0}^{n} Cj(1+i)^{-h} \quad (5)$$

Em que: Rj = valor atual das receitas; Cj = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j =período em que as receitas ou os custos ocorrem; e n = número de períodos ou duração do projeto.

De forma interpretativa, quando um projeto tem seu VPL maior que zero, ou seja, com uma grandeza positiva, ele é considerado economicamente viável. De modo comparativo, o projeto que apresentar maior VPL é considerado o melhor.

O Valor Anual Equivalente (VAE) (6), é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao valor presente líquido do investimento analisado durante sua duração. Ou seja, o VAE transforma o VPL em fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos, equivalentes ao valor atual, durante a vida útil do projeto.

$$VAE = \frac{VPL * i}{[1-(1+i)^{-n}]} \quad (6)$$

Em que: n = duração do projeto; t = número de períodos de capitalização; i = taxa de juros.

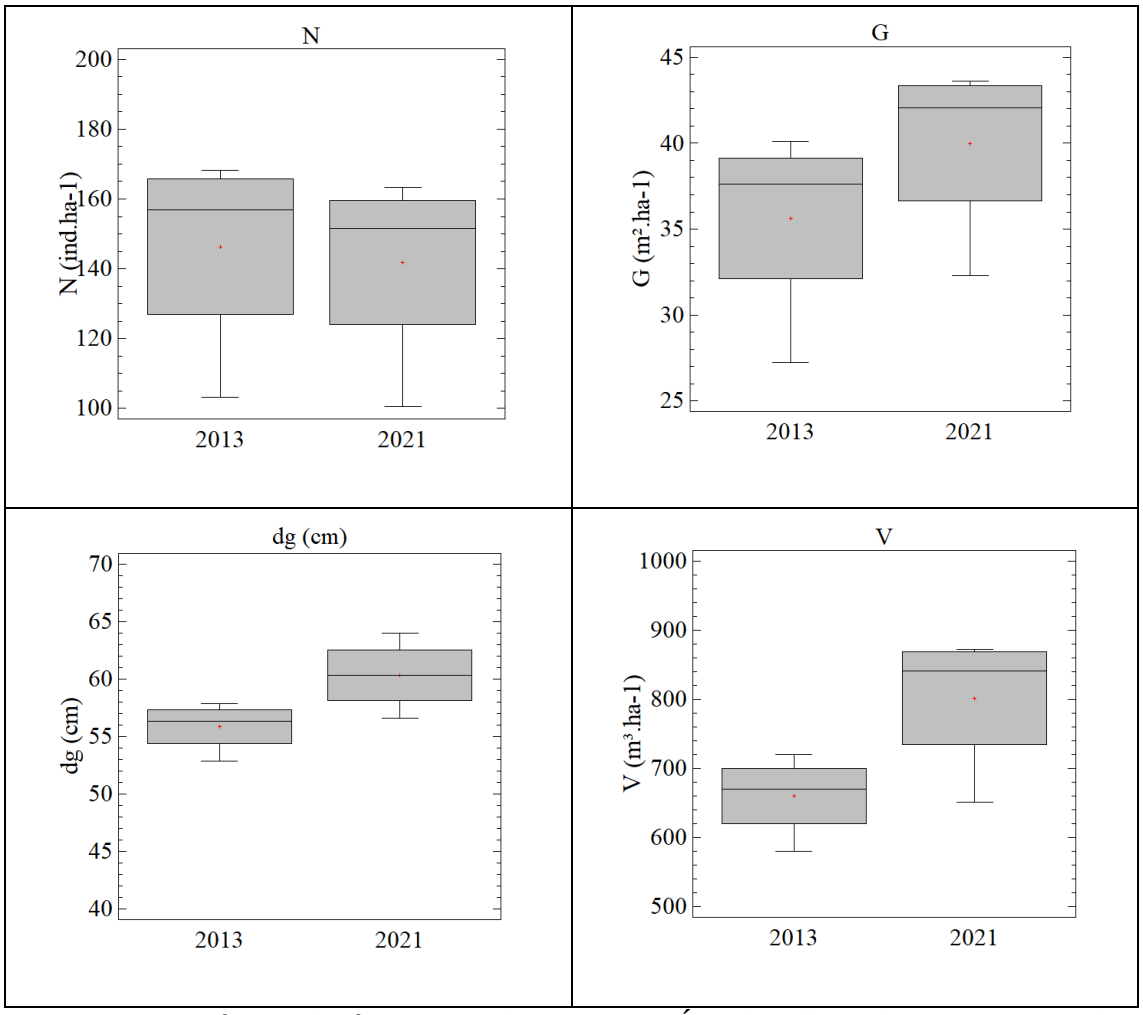
A nível de interpretação, um projeto é considerado viável economicamente se seu Valor Anual Equivalente for positivo. Quanto à seleção de opções, deve ser escolhida a que apresentar maior VAE, para determinada taxa de desconto (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) calcula a taxa de desconto que um fluxo de caixa deve ter para que seu VPL seja igual a zero. A TIR pode ser utilizada como critério de decisão, isto é, aceitar ou rejeitar um projeto. Se a Taxa Interna de Retorno for maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) aceita-se o projeto, se for menor o projeto é rejeitado. Entre dois projetos com TIR diferentes, o que apresentar maior taxa representa o investimento que proporciona o maior retorno.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os resultados obtidos neste estudo, tem-se as informações referentes aos censos realizados com intervalo de oito anos e nenhuma intervenção de manejo neste período. Na Figura 6 estão descritas as principais informações obtidas em ambos os inventários a 100% ocorridos nos anos de 2013 e 2021.

Figura 6 - Diagramas de caixa (Boxplot) do número de árvores, área basal, diâmetro médio quadrático e volume, todos por hectare para *Pinus elliottii* Engelm. na Floresta Nacional de Três Barras.



Em que: N= Número de árvores por hectare; G= Área basal por hectare em m²; dg= diâmetro médio quadrático (cm); V= Volume por hectare em $m^3.ha^{-1}$.

Fonte: A autora (2024).

O diagrama de caixa é um resumo estatístico dos dados, construído usando como referência os valores máximo e mínimo da variável em questão, representados pela linha que vai da parte inferior à parte superior do diagrama. É possível visualizar ainda o primeiro e terceiro quartil, observados nas extremidades da caixa, sendo o primeiro abaixo e o segundo acima. O segundo quartil, também chamado de mediana, está no interior da caixa. Em relação a simetria é possível caracterizar os dados dispostos nos diagramas acima como com assimetria negativa, isto pois a linha da mediana encontra-se mais próxima do quartil superior, o terceiro, do que do quartil inferior, o primeiro. Não há presença de outliers para as variáveis em questão.

A diminuição do número de árvores por hectare de um censo para o outro se dá pela mortalidade natural de indivíduos no povoamento, que pode ser em decorrência da competição, idade, fatores genéticos ou senescência (DOBBERTIN & BIGING, 1998). Destaca-se que esta perda de árvores nos dois períodos representa, 4,9 % das árvores remanescentes no povoamento. Casagrande Filho (2012) obteve em média 2,96% de mortalidade em plantio de *P. elliottii* com até 11 anos. Segundo Zhao et al. (2007), a probabilidade de sobrevivência diminui com o aumento da idade da floresta. Com o crescimento da floresta ao longo dos anos o espaço para o desenvolvimento vai diminuindo, provocando aumento da competição entre os indivíduos, chegando a um estágio em que se inicia a mortalidade natural, caracterizando o autodesbaste (SCHNEIDER et al. 2015).

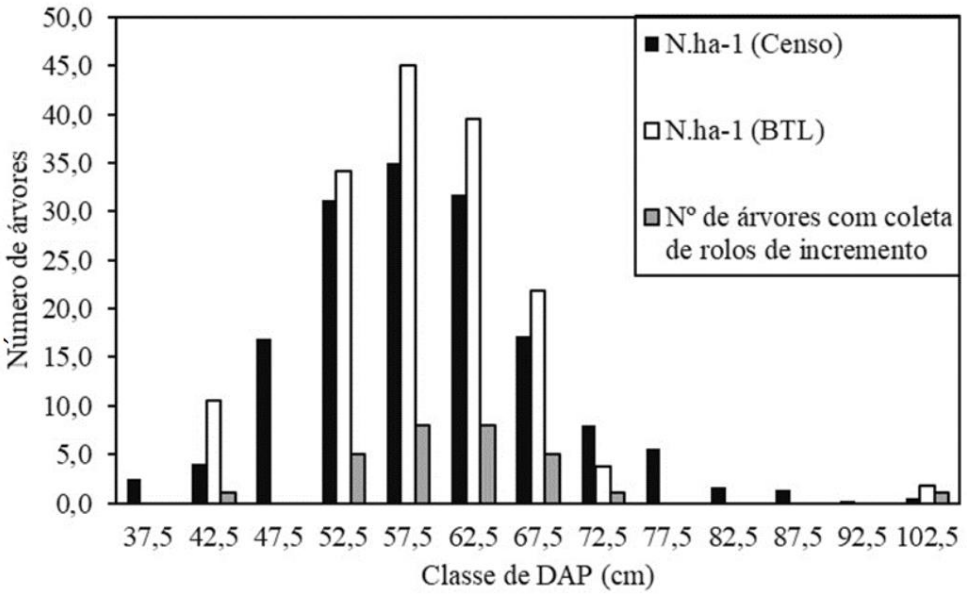
Apesar da diminuição do número de indivíduos por hectare, a área basal, que é um dos parâmetros mais úteis no controle do desbaste e na descrição de um povoamento, apresentou aumento no período. Quando associada com a idade do povoamento, a variável área basal oferece dados como o ponto de estagnação da floresta, o ponto máximo de crescimento da espécie em função do sítio e/ou espaçamento (FINGER, 1992).

O diâmetro médio quadrático (dg), assim como o volume por hectare também tiveram aumento considerável durante o período entre a realização dos dois inventários a 100%. Em um plantio de *P. taeda* com 43 anos de idade no município de Correia Pinto/SC, Vivian et al. (2022) encontraram volume por hectare médio de 973,4 m³ e DAP médio de 63,2 cm, neste plantio em questão com uma média de 165 árvores por hectare em que foram estabelecidos cinco desbastes, um a mais do que para o presente estudo.

5.1. ESTIMATIVAS DIAMÉTRICAS E HIPSOMÉTRICAS

O fator de área basal (K) de 1,5 resultou na inclusão de 29 árvores do talhão 55 com 3,72 ha no giro de Bitterlich, nesses indivíduos foi feita coleta dos rolos de incremento. Conforme o recomendado na literatura, seguindo a distribuição diamétrica da floresta obtida no censo, o que pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Distribuição de frequência diamétrica do censo do ano de 2021 e do giro de Bitterlich.



Em que: BTL = Bitterlich.

Fonte: A autora (2024).

Observa-se na Figura 7, que a metodologia de Bitterlich gerou uma distribuição diamétrica compatível com o censo, e a amostragem dos rolos de incremento seguiu de maneira proporcional a distribuição diamétrica, como esperado.

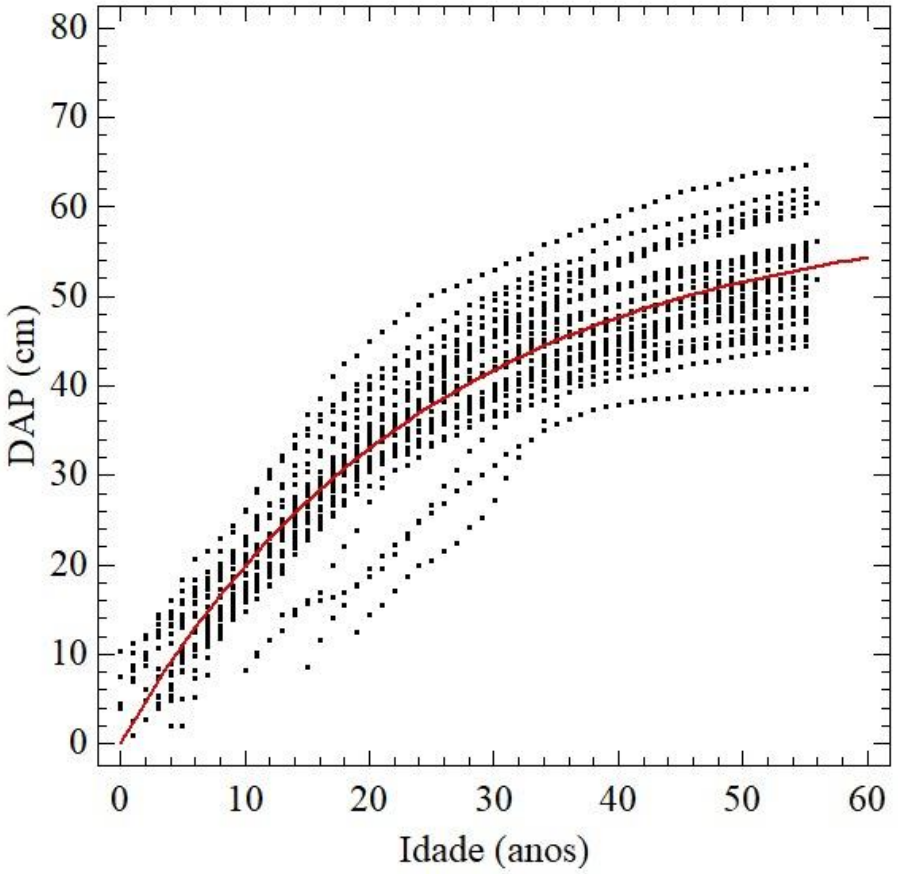
Para a retrospectiva do diâmetro nas idades trabalhadas, o ajuste do modelo de Chapman-Richards gerou R^2 de 0,8549 e erro padrão da estimativa em porcentagem de 14,04% obtendo-se a seguinte equação:

$$Y=59,8226\ (1-e^{(-0,0396\ I)})^{\left(\frac{1}{1,0113}\right)}$$

Em que: Y= DAP (cm); I= idade (anos).

Na Figura 8 pode ser observado o desempenho da curva de produção em diâmetro ajustada pelo modelo de Chapman-Richards (vermelho) diante das 33 curvas mensuradas pelos anéis de crescimento. Neste caso foral utilizadas as 29 árvores cubadas do talhão 55 e mais a árvore dg de cada um dos talhões, totalizando 33 indivíduos.

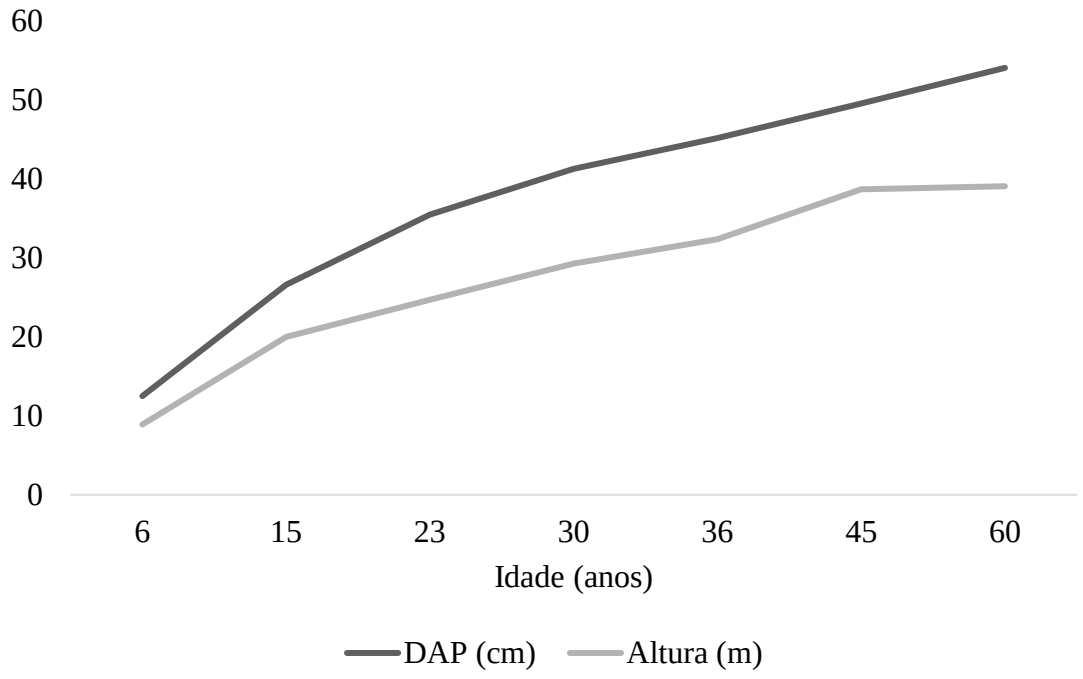
Figura 8 - Curva de produção da variável diâmetro à altura do peito (cm) estimada (vermelho) e curvas de produção em diâmetro mensuradas nas 33 árvores em que se realizou a análise de tronco parcial.



Fonte: A autora (2024).

De modo geral, a curvas apresentaram a configuração esperada: sigmoidal, com um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e tendência assintótica (HOSOKAWA et al.,1998). Em seu estudo com *Pinus taeda* em Moçambique, Manga (2011) também observou o padrão sigmoidal do crescimento diamétrico, tendo sua assíntota aos 28 anos, De acordo com ODUM (1988), na assíntota da curva não ocorre nenhum aumento diamétrico importante. Burger (1980) afirmou que florestas com muitas intervenções tendem a não atingem a máxima produção biológica, o que não ocorre no presente estudo, visto que a floresta está próxima a atingir seus valores de máxima produção, em que o diâmetro médio estimado (linha vermelha) apresenta valores muito próximos do coeficiente β0 obtido no ajuste do modelo de Chapman-Richards (59,8 cm). A partir da equação de Chapman-Richards e das equações hipsométricas disponíveis na literatura, pode-se gerar os valores de diâmetro e altura para cada idade de interesse (Figura 9).

Figura 9 - Evolução dos diâmetros (cm) e alturas (m) médias para as idades trabalhadas.



Fonte: A autora (2024).

Nicoletti et al. (2016) em seu estudo com *P. taeda* em Ponte Alta do Norte, obtiveram valores médios de 18,1 cm de diâmetro para a idade de 7 anos. Tendo máxima de 25,2 cm e valor mínimo de 8,9 cm. Em um estudo conduzido com híbridos do gênero *Pinus* com 4 anos em Dois Vizinhos - PR, Broncowisk et al. (2022) encontraram valores médios entre 9,02 cm e 13,51 cm. No presente estudo, a média para a idade de seis anos foi abaixo a dos estudos citados, com 12,5 cm, o que pode ser justificado pela elevada densidade de indivíduos na floresta, dificultando assim o desenvolvimento e crescimento em diâmetro.

Aos 14 anos, a média encontrada por Nicoletti et al. (2022), foi de 26,2 cm para *Pinus elliottii* em um povoamento da espécie em Correia Pinto/SC, que foi submetido a desbaste no décimo primeiro ano. Esse valor médio é muito próximo ao estimado no presente estudo que foi de 26,6 cm. A semelhança se dá por ambos os povoamentos comparados terem sido submetidos a desbastes, o que favorece o desenvolvimento.

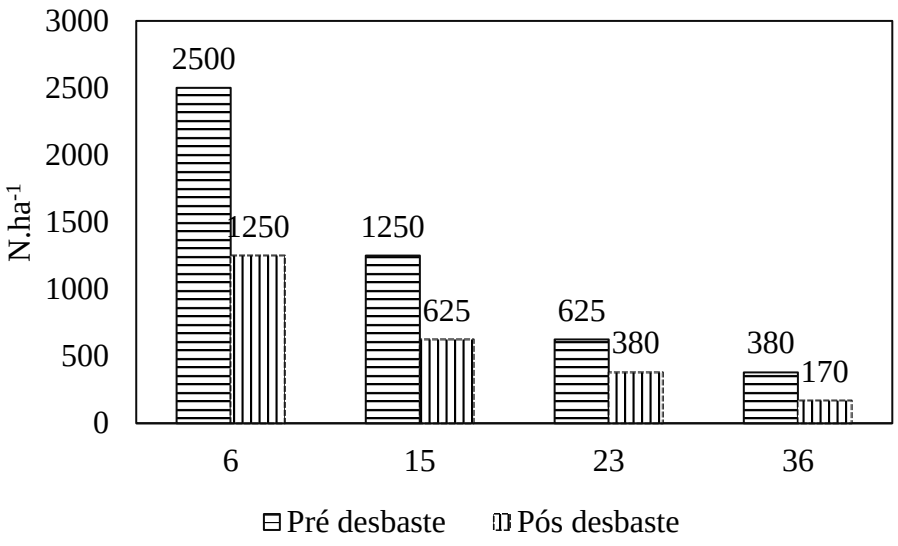
Fockink et al. (2023) em seu estudo com *Pinus* sp. não manejado aos 45 anos de idade no município de Santa Maria/RS obtiveram valores de DAP variando entre 36,9 cm e 43,1 cm, com média de 38,6 cm. Com uma média de mais de 10 cm abaixo da encontrada no presente estudo, podendo ser facilmente justificada pela ausência de desbastes em comparativo com as 4 intervenções realizadas até o quadragésimo ano.

Evidenciando ainda mais a importância dos desbastes no desenvolvimento de povoamentos florestais e obtenção de toras com maiores dimensões e, consequentemente, a maior valorização do produto.

Tratando-se da outra variável modelada, a altura média encontrada por Nicoletti et al. (2022) foi de 18,8 m para *Pinus elliottii* em um povoamento em Correia Pinto/SC, que foi submetido a desbaste no décimo primeiro ano. Fockink et al. (2023) seu estudo em um povoamento de *Pinus* sp. sem histórico de manejo e com 45 anos, localizado em Santa Maria/RS obtiveram alturas com variação entre 30,7 m e 31,9 m.

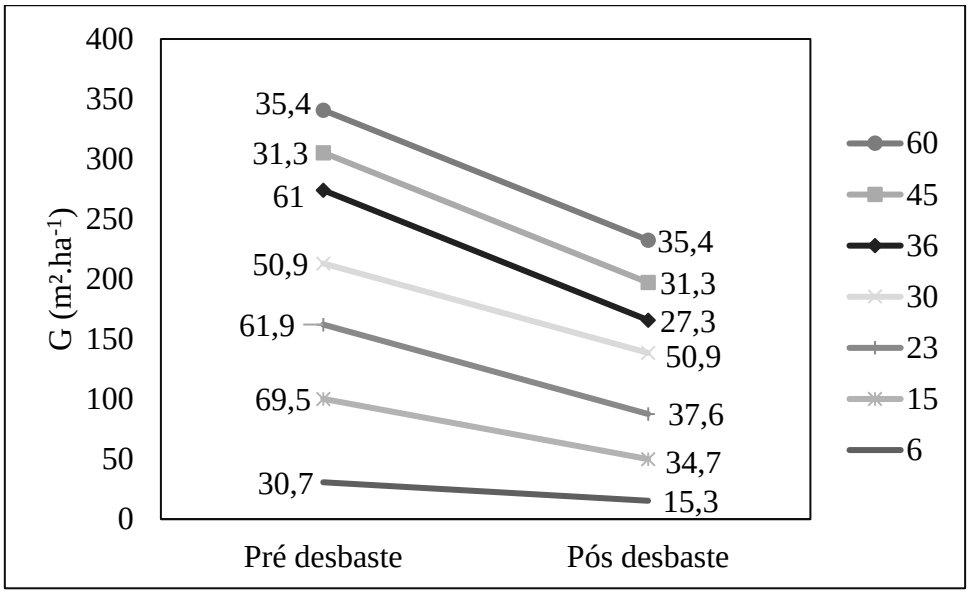
Outras informações obtivas foram o número de árvores por hectare da floresta nas idades em que o povoamento sofreu intervenção antes e após o desbaste (Figura 10) e a área basal do povoamento pré e pós desbaste (Figura 11).

Figura 10 - Número de árvores por hectare pré e pós desbaste nas idades em que houve intervenção.



Fonte: A autora (2024).

Figura 11 - Área basal média para cada idade trabalhada pré e pós desbaste e nos finais de rotação dos cenários.



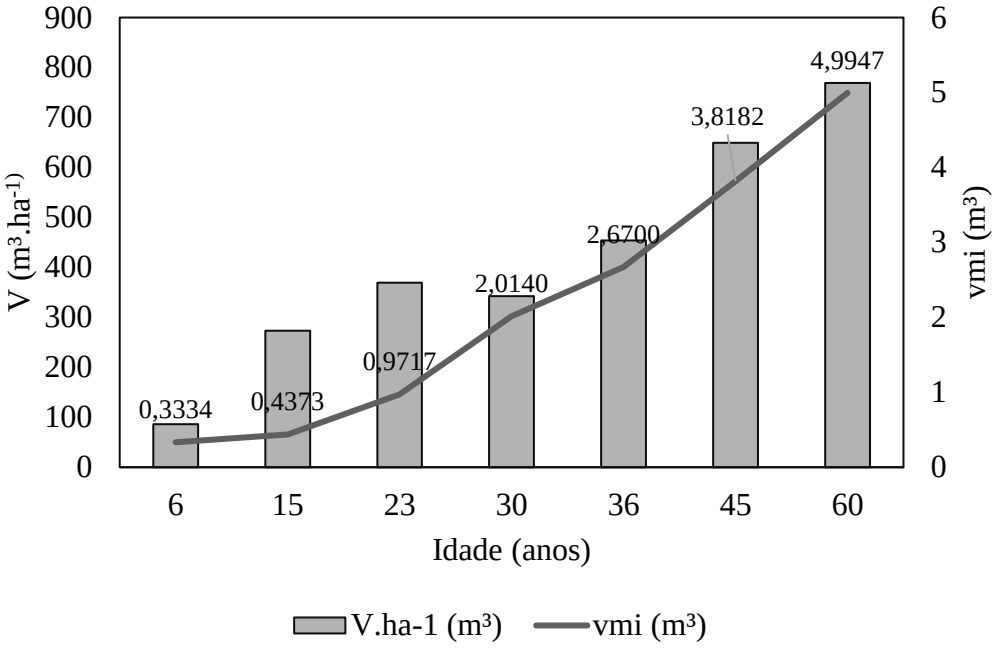
Fonte: A autora (2024).

Nos dois primeiros desbastes a intensidade foi de 50%, no terceiro desbaste retirou-se 39% de volume e na última intervenção o percentual desbastado foi 55 %. De acordo com Mainardi et al (1996), considerando que o valor de área basal ideal para que ocorra intervenção em uma floresta de Pinus seja por volta de 40 $m^2.ha^{-1}$, a fim de se obter um valor sem competição de 25 $m^2.ha^{-1}$. Desta forma, pode avaliar-se o desbaste ocorrido aos seis anos de idade da floresta precoce e de intensidade acentuada. Já os desbastes seguintes, ocorreram em momentos adequados, podendo ainda, ter sido conduzidos com maior intensidade. Nicoletti et al. (2021) ao analisar quatro espécies do gênero *Pinus* no município de Correia Pinto/SC observaram que para a variável diâmetro médio o primeiro desbaste por baixo aos 11 anos, favoreceu o crescimento a partir do segundo ano pós desbaste, e que as taxas de crescimento a partir do segundo ano passaram para aproximadamente 30% nas espécies.

5.2. VOLUME E SORTIMENTOS

Na Figura 12 estão descritos os valores do volume médio individual em cada idade estudada, além da extrapolação deste volume considerando o número de árvores por hectare em cada ano.

Figura 12 - Volumes médios individuais (vmi) e por hectare em cada uma das idades modeladas.



Fonte: A autora (2024).

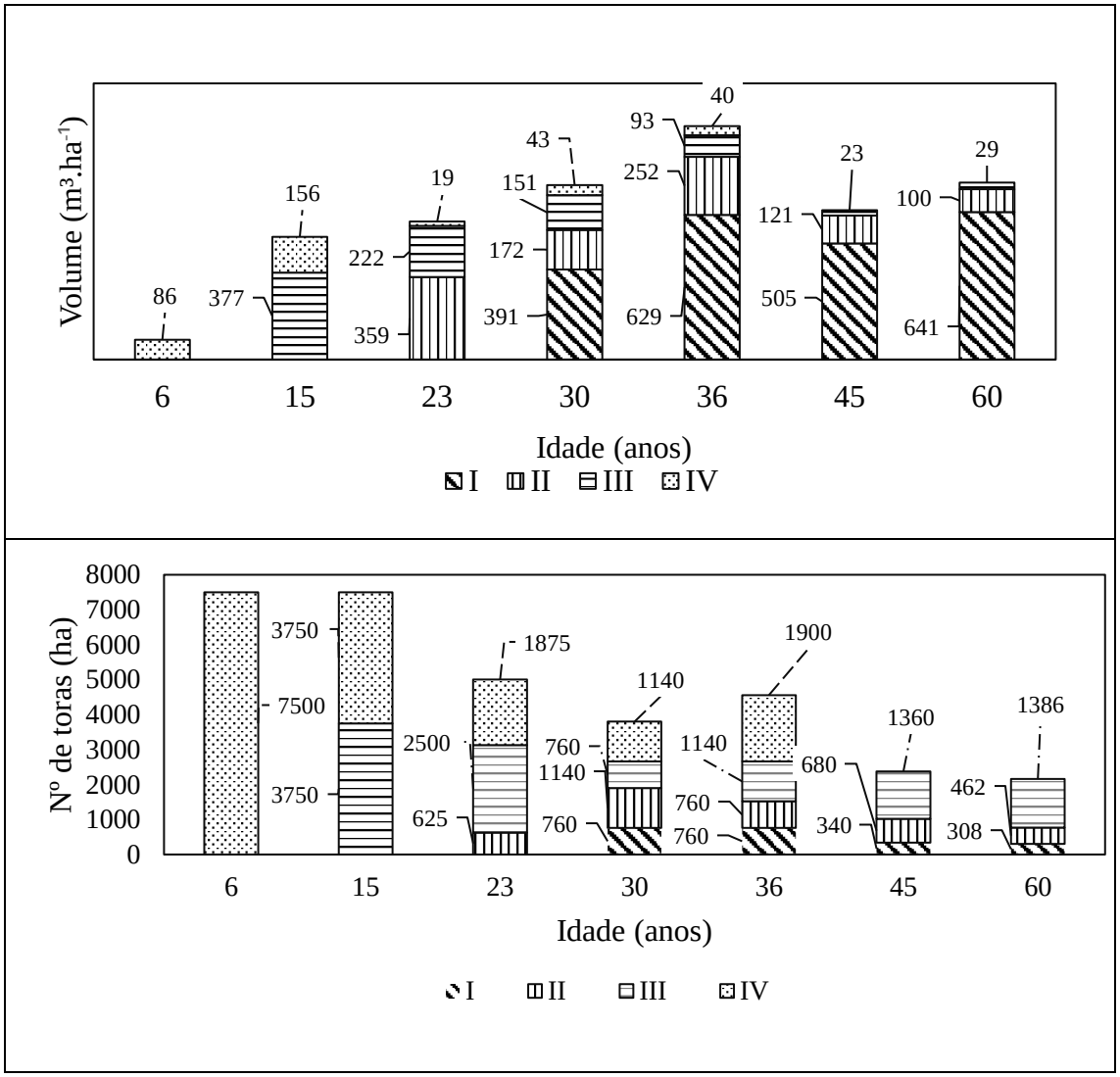
Kohler et al. (2015) em seu estudo povoamentos de *Pinus taeda* na região centro-sul do estado do Paraná, e outro na região serrana do estado de Santa Catarina encontraram volume médio por árvore e 1,157 m³ para o povoamento do estado do Paraná e de 0,959 m³ para o povoamento no estado de Santa Catarina aos 18 anos, valores acima dos encontrados no presente estudo tanto aos 15 quanto aos 23 anos. Esta diferença pode ser justificada pela realização de desbastes no plantio estudado, propiciando assim o incremento diamétrico. Oliveira e Mayrinck (2021), em um plantio experimental de *P. taeda* aos 17 anos em Irati no estado do Paraná encontraram volume individual entre 0,1223 m³ e 1,1508 m³ em seu comparativo de plantio com diferentes espaçamentos, os valores encontrados no presente trabalho estão dentro deste intervalo dos 6 aos 23 anos.

Cruz et al. (2023) em seu estudo realizado avaliando diferentes intensidades de desbaste em um plantio de *P. taeda* com 37 anos no município de Campo Belo do Sul observou um volume por hectare de 622,2 $m^3.ha^{-1}$ no tratamento com desbaste mais pesado e 1.160,2 $m^3.ha^{-1}$ em tratamento sem desbaste. Tratando-se de desbaste mais pesado, o volume está entre o encontrado no presente estudo entre 36 e 45 anos. Vale ressaltar que por mais que os povoamentos mais adensados representem um maior valor

de área basal e consequentemente de volume, nos povoamentos com desbastes tem-se árvores com maiores dimensões nas idades mais avançadas, o que representa maior valor agregado na madeira.

Vivian et al. (2022), em seu estudo com *P. taeda* aos 43 anos com cinco desbastes, em Correia Pinto/SC obteve um volume médio individual de 6 m³, valor maior do que o encontrado no presente estudo tanto aos 45 quanto aos 60 anos, porém a densidade obtida por este autor é muito semelhante a estudada, de 165 indivíduos por hectare. Além dos parâmetros de volume individual e por hectare, considerando do ponto de vista econômico fez-se o estudo dos sortimentos. Na Figura 13, encontram-se o volume de madeira por hectare, dividido nas classes de sortimento, para as idades estudadas.

Figura 13 - Estoque de madeira na floresta em volume e número de toras por hectare por classe de sortimento por idade pré desbaste.



Fonte: A autora (2024).

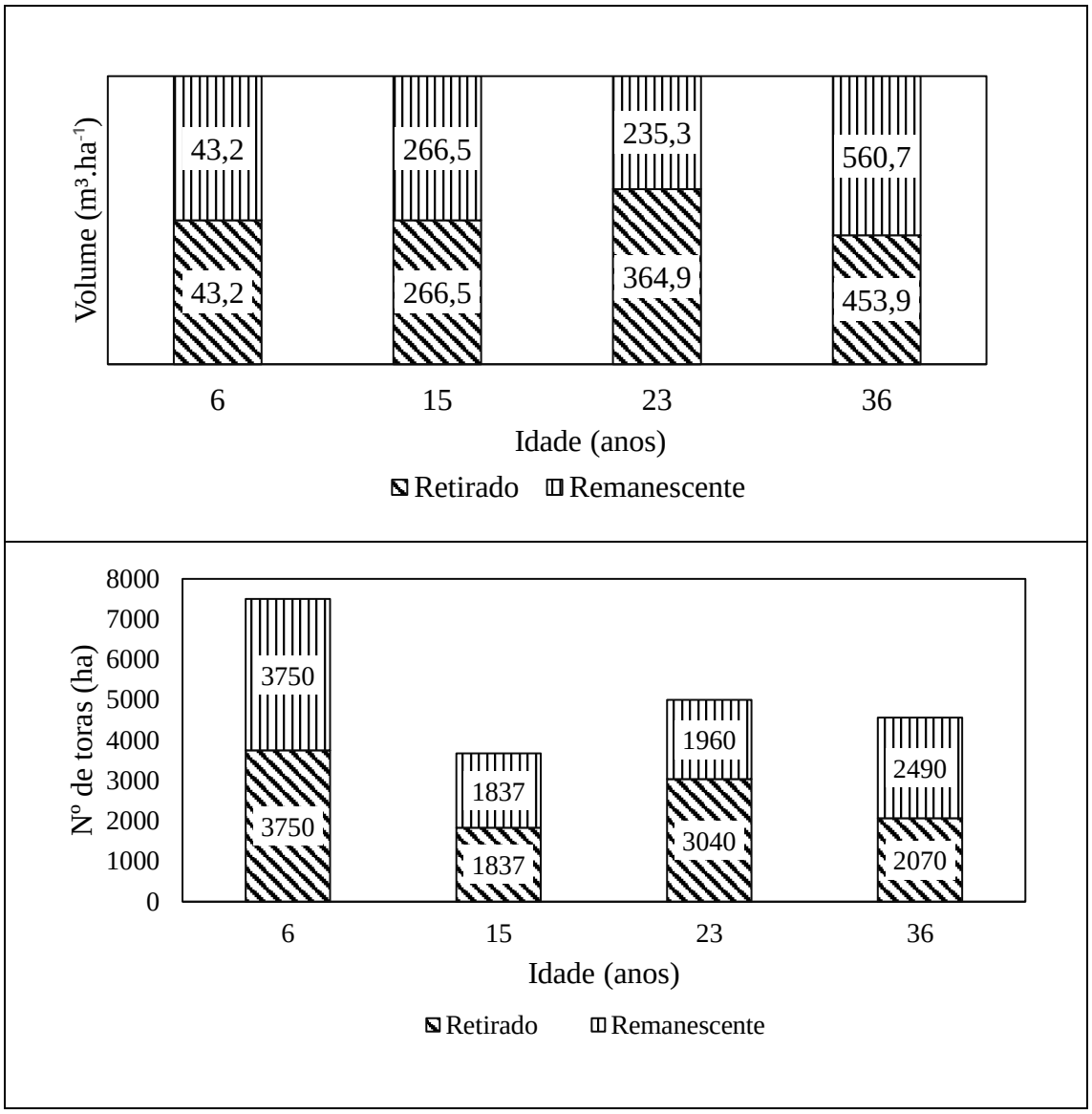
Devido ao número de árvores por hectare ser reduzido com os desbastes, modifica-se a estrutura da floresta e a relação do volume de madeira em cada classe de sortimento. De acordo com Schneider e Finger (1999), tem o propósito primordial com os desbastes de elevar a produtividade comercial dos sortimentos com o aumento da dimensão das toras.

É possível observar que ao longo do crescimento da floresta e com o estabelecimento dos desbastes, os sortimentos que vão se tornando mais representativos são os de maior valor agregado. Dos 23 anos para os 30 anos, surge toras no sortimento I, o mais nobre, este que aumenta o número de toras ao longo do crescimento da floresta. O sortimento IV tem grande representatividade aos quinze anos e vai diminuindo até os 36 anos, onde há a maior parte do fuste dos indivíduos sendo representado pela classe I (Figura 14).

No trabalho de Dobner (2015) em povoamento de *Pinus taeda* com 30 anos de idade, também foi verificado que as intervenções influenciaram positivamente o crescimento diamétrico, variável que possui correlação altíssima com o volume.

Pereira e Tomaselli (2004), em seu estudo com *P. elliottii* aos nove anos em Capão Bonito/SP avaliando tratamentos com percentual de volume desbastado diferente, 25% 50%, 75% e a testemunha sem desbaste, consideram que o aumento da intensidade de desbaste tem pouco efeito nas propriedades da madeira. Sendo assim, para a decisão da intensidade a ser desbastado, os parâmetros buscados devem ser de ordem econômica e produtiva.

Figura 14 - Comparativo do volume e número de toras retirado nos desbastes e remanescente na floresta por sortimento nas idades com ocorrência de intervenção.



Fonte: A autora (2024).

5.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Na Tabela 8 encontram-se os valores de VPL, na Tabela 9 os valores de TIR e na Tabela 10 o VAE, todos parâmetros considerando três diferentes valores de TMA para os cenários estudados: 3%, 5% e 7%. Utilizando-se os preços A e B, isto é, sem considerar o mercado diversificado.

Tabela 8 - Valor Presente Líquido com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados.

Cenário	Preço	VPL		
		TMA 3%	TMA 5%	TMA 7%
Testemunha	A	R$ 83.668	R$ 27.660	R$ 2.119
	B	R$ 111.905	R$ 41.146	R$ 9.104
I	A	R$ 52.197	R$ 20.899	R$ 5.441
	B	R$ 55.698	R$ 22.951	R$ 6.739
II	A	R$ 71.620	R$ 24.675	R$ 3.360
	B	R$ 84.232	R$ 29.681	R$ 5.637
III	A	**R$ 117.653**	**R$ 48.161**	**R$ 14.591**
	B	**R$ 152.379**	**R$ 65.933**	**R$ 24.321**
IV	A	R$ 102.630	R$ 38.135	R$ 7.399
	B	R$ 134.162	R$ 53.922	R$ 15.656
V	A	R$ 100.052	R$ 43.088	R$ 13.178
	B	R$ 125.667	R$ 57.906	R$ 21.929
VI	A	R$ 84.732	R$ 28.407	R$ 3.947
	B	R$ 106.225	R$ 37.066	R$ 7.768

Fonte: A autora (2024).

O maior VPL calculado foi o para o cenário III, o que considera duas rotações de 30 anos ao longo do horizonte de 60 anos. Considerando a diferença entre as duas listas de preços e a TMA de 3% e de 7% o valor foi de R$152.397,00 a R$14.591,00. Em segundo lugar, o cenário com maior rentabilidade, considerando o Valor Presente Líquido foi o IV, com uma rotação de 45 anos e outra de 15 anos, no cenário VI tem-se essa mesma combinação de idades de corte final, porém com organização contrária, sendo o ciclo de menor rotação primeiro.

Assim como na análise do Valor Presente Líquido, na TIR o cenário com maior rentabilidade foi considerado o III, que contempla dois ciclos com corte final aos 30 anos e execução de três desbastes. Destaca-se também o cenário V, que contempla um ciclo de trinta anos seguido por dois de quinze anos. Para a análise da TIR, o cenário com menor viabilidade é o Testemunha, que contempla apenas um ciclo com 60 anos.

Tabela 9 - Taxa Interna de Retorno com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados.

Cenário	Preço	TIR		
		TMA 3%	TMA 5%	TMA 7%
Testemunha	A	10,9%	9,0%	7,4%
	B	11,9%	10,1%	8,6%
I	A	11,6%	10,3%	8,9%
	B	12,0%	10,6%	9,3%
II	A	11,9%	9,6%	7,9%
	B	12,3%	10,1%	8,3%
III	**A**	**12,7%**	**10,9%**	**9,5%**
	B	**13,7%**	**12,0%**	**10,6%**
IV	A	11,4%	9,7%	8,3%
	B	12,4%	10,7%	9,3%
V	A	**12,7%**	**10,9%**	**9,4%**
	B	**13,7%**	**12,0%**	**10,6%**
VI	A	11,8%	9,6%	7,9%
	B	12,2%	10,1%	8,6%

Fonte: A autora (2024).

Tabela 10 - Valor Anual Equivalente com diferentes Taxas Mínimas de Atratividade para os cenários trabalhados.

Cenário	Preço	VAE		
		TMA 3%	TMA 5%	TMA 7%
Testemunha	A	R$ 3.023	R$ 1.461	R$ 151
	B	R$ 4.043	R$ 2.174	R$ 648
I	A	R$ 1.886	R$ 1.104	R$ 388
	B	R$ 2.013	R$ 1.212	R$ 480
II	A	R$ 2.588	R$ 1.304	R$ 239
	B	R$ 3.044	R$ 1.568	R$ 402
III	**A**	**R$ 4.251**	**R$ 2.544**	**R$ 1.039**
	B	**R$ 5.506**	**R$ 3.483**	**R$ 1.732**
IV	A	R$ 3.708	R$ 2.015	R$ 527
	B	R$ 4.848	R$ 2.849	R$ 1.115
V	A	R$ 3.615	R$ 2.276	R$ 939
	B	R$ 4.541	R$ 3.059	R$ 1.562
VI	A	R$ 3.062	R$ 1.501	R$ 281
	B	R$ 3.838	R$ 1.958	R$ 553

Fonte: A autora (2024).

Assim como nos demais indicadores, o cenário com melhor desempenho foi o III. O cenário Testemunha, que contempla um único ciclo com a duração de sessenta anos ficou

em penúltimo lugar, considerando o retorno econômico, atrás somente do Cenário I, com ciclos mais curtos.

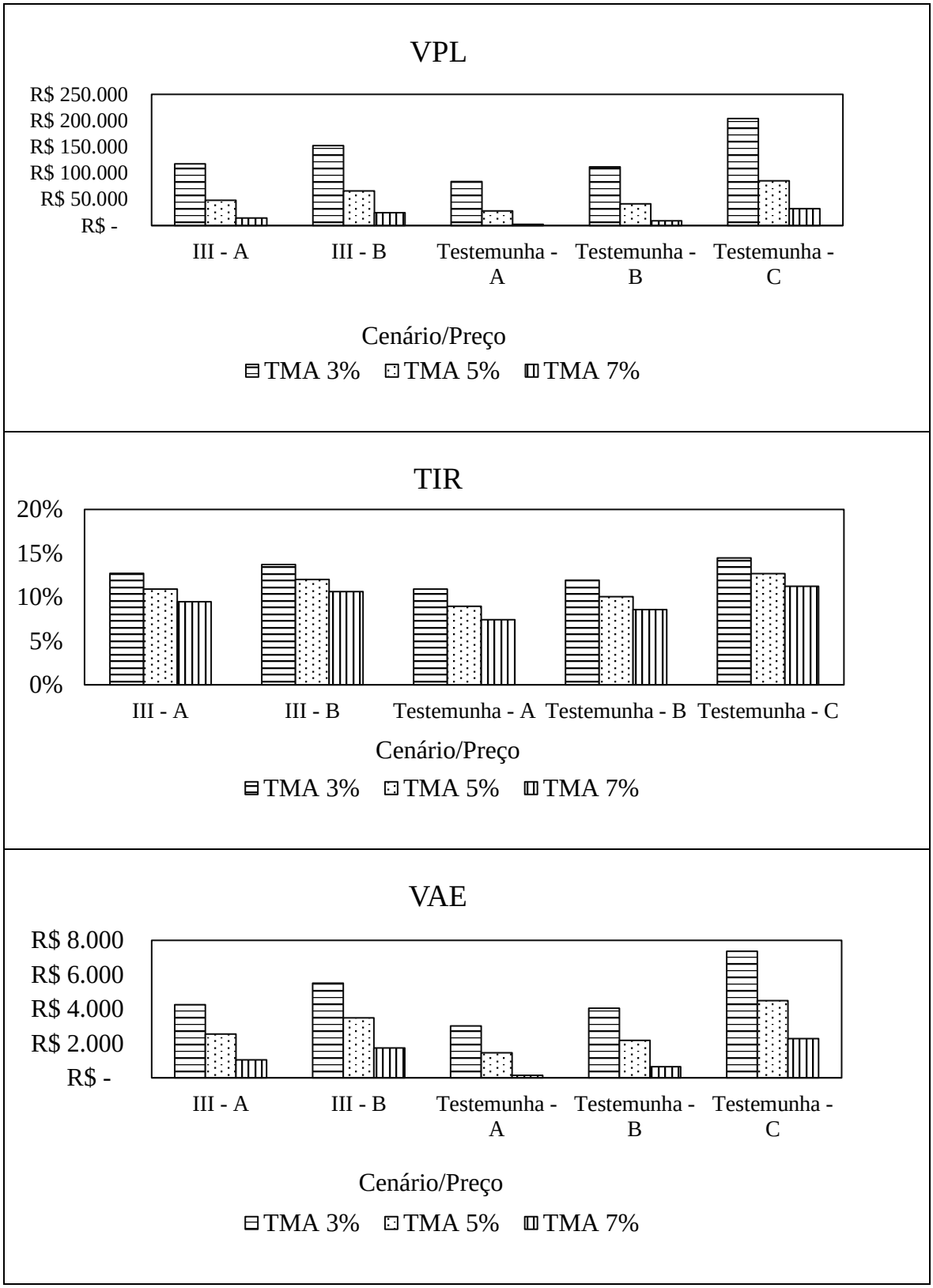
Tratando-se de comparativos, em relação ao horizonte de planejamento faz sentido utilizar cenários com rotações de tempos múltiplos, contemplando uma idade final comum, os sessenta anos. Porém, em termos de valoração, se tem a oportunidade de diversificar o valor a ser pago por produtos diferentes, o que é o caso de madeira de maiores diâmetros ou com características provenientes de um manejo diversificado, como por exemplo, toras livres de nós.

Sendo assim, considerando o cenário Testemunha, com um ciclo de sessenta anos, gerou-se um comparativo entre os valores A, B e C, sendo os dois primeiros os valores convencionais e o último considerando um mercado diversificado, isto é, para lâminas de madeira livre de nós nos sortimentos Serraria I e Laminação, os com diâmetros maiores, dispostos na Figura 15.

Mesmo o Cenário III de melhor desempenho nas análises de TIR, VPL e VAE considerando mercado tradicional, não supera o cenário Testemunha com valores atribuídos para o mercado diversificado, ainda que para este comparativo não se tenha atribuído valor diferente para diâmetros mais grossos, tendo como limite o sortimento Laminação que é caracterizado por toras a partir de 35 centímetros na ponta fina. Heberle (2024), em seu estudo com *P. taeda* com grandes dimensões e considera um mercado diversificado com rentabilidade de até R$ 854,00 o metro cúbico de madeira livre de nó com diâmetro mínimo acima de 45 cm. Vivian et al. (2022) afirmam que os ciclos de produção com duração superior a 30 anos podem ser uma opção interessante para produtores de Pinus, visando acessar mercados específicos nos quais toras grossas e de melhor qualidade para fins sólidos e estruturais.

Além da produção de madeira para atender um mercado diversificado, outra oportunidade a ser explorada para a espécie *P. elliottii* é a resinagem. Lima et al. (2021), em seu estudo com um povoamento da espécie, obtiveram lucratividade superior de até 62,7% em um comparativo a um povoamento não resinado. Ainda que a resinagem gere uma diminuição no crescimento das variáveis dendrométricas, ainda é uma alternativa vantajosa (CORDEIRO e LOPES, 2009).

Figura 15 - Comparativo dos indicadores (VPL, TIR e VAE) do cenário com melhor desempenho (III) e cenário Testemunha, com preços A, B e C que é referente ao mercado diversificado.



Fonte: A autora (2024).

6. CONCLUSÕES

Os resultados discutidos permitem concluir que ao longo do crescimento da floresta estudada, os desbastes foram imprescindíveis para garantir um ganho de incremento volumétrico e sobretudo, na obtenção de madeiras em classes maiores de diâmetros, as quais são mais valorizadas comercialmente pois possuem maior valor agregado e menor disponibilidade. Quando analisado o volume individual aos 15 e aos 30 anos, com o dobro da idade o VMI teve aumento de muito mais que o dobro, da mesma forma em comparativo dos 30 anos aos 60 anos.

Para o povoamento estudado, considerando-se dois ciclos de 30 anos dentro do horizonte de planejamento de 60 anos, houve um melhor desempenho nos parâmetros econômicos TIR, VPL e VAE, porém ao ser comparado com um único ciclo de 60 anos com preços da madeira visando um mercado consumidor de madeira livre de nós, com os mesmos diâmetros, a realização deste único e mais longo ciclo, foi o mais favorável. O fato da atual classificação de sortimentos não contemplar esta classificação de madeiras e o seu potencial, pode ser justificado pela pouca oferta, visto que são raros plantios com idades tão avançadas. Considerando a classificação adequada, com o objetivo da madeira produzida ser destinada a usos mais nobres, tem-se uma estratégia de manejo interessante do ponto de vista econômico.

Por fim, recomenda-se que em estudos com ciclos longos de rotação para o gênero Pinus, considere-se a geração de sortimento com maiores dimensões, com diâmetros mínimos de inclusão mais altos do que os praticados comumente. Estimativas e comparativos considerando madeira livre de nós, para atender o mercado de clearwood. Análises de risco, como por exemplo o método de simulações de Monte Carlo, considerando que uma floresta plantada está susceptível a diversos eventos ao longo de seu ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI – **Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente**. Estudo setorial 2009 - ano base 2008. Curitiba: ABIMCI, 2009. 54 p.

ARAUJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta amazônica**, Manaus, v. 36, n.4, p. 447-464, 2006.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

AHRENS, S. A. **Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de** *Pinus taeda* L., **através de um modelo de programação dinâmica**. Tese de Doutorado. UFPR. Curitiba – PR, 1992.

ARESB. **Associação dos Resinadores do Brasil. Produção nacional de goma resina de pinus**. Disponível em: http://www.aresb.com.br/portal/estatisticas/. Acesso em: 22 de dezembro de 2023.

BERGAMIN FILHO, A. **Análise matemática de epidemias.** In: GALLI, F. (coor.) Manual de Fitopatologia. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1978. 373 p.

BETTINGER et al. Chapter 1: **Management of Forests and Other Natural Resources**. In: BETTINGER et al. Forest Management and Planning. 2 ed. Londres: Academic Press, 2017. Cap. 1, pg 1-21.

BONAZZA, M., DOBNER Jr., M., NOVACK Jr., N. S., SAMPIETRO, J. A., ARCE, J. E., & WOJCIECHOWSKI, J. Desempenho operacional e custos de desbaste pré-comercial semimecanizado em *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, 48(125), 2020. e3064. https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.08

BRASIL. Constituição (1966). Lei nº 5.106, de 02 de setembro de 1966. **Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais**. Brasília, DF, 02 set. 1966.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal 1: a produção florestal**. 4. ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CAMPOS, J. C. C. LEITE, H. G. Leite. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa-MG: UFV, 2017.

CERDEIRA, A. L. N. **Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de** *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis.* 66p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

COELHO, S. **Dólares, gota a gota**. Globo Rural, p.76-79, maio. 1989.

CORDEIRO, S.A; LOPES da S. M; Avaliação econômica de floresta de Pinus para produção de madeira e resina. **Revista Agrogeoambiental,** 1(2): 26-30, 2009.

CRUZ, M. I. **Rentabilidade econômica de três regimes de manejo de** *Pinus taeda* L., **em Dionísio Cerqueira – SC.** 2021. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021

CUNHA, U. S. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Manaus, 2004.

DAVID, H.C. PÉLLICO NETTO, S. ARCE, J.E. CORTE, A.P.D. MARINHESKI DOBNER JÚNIOR, M. HUSS, J. TOMAZELLO FILHO, M. Wood density of loblolly pine trees as affected by crown thinning and harvest age in southern Brazil. **Wood Science and Technology**, New York, v. 52, n. 2, p. 465-485, jan. 2018.

DOBNER JÚNIOR, M.; HIGA, A. R.; ROCHA, M. P. da. Rendimento em Serraria de Toras de Pinus taeda: sortimentos de grandes dimensões. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 385-392, 2012. http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.053.

DINARDI, A. J. **Viabilidade técnica e econômica de povoamentos de Eucalyptus spp. sob diferentes espaçamentos visando a produção de biomassa para energia.** 91p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2014.

FABER, I. **Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 3, pg 69-92.

FARR, J. V.; FABER, I. Chapter 2: **The science of engineering economics: understanding the time value of money**. In: FARR, J. V.; FABER, I. Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 2, pg 25-68.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VET) e Valor Esperado da Terra (VET)**. Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. **Compêndio de equações de volume e afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil**. Curitiba: Os Autores, 2014. 306 p.

FINGER, C. A. G. F. **Biometria Florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

FILHO, A. ARAÚJO, E.J.G. Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de Pinus**. Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 11, 2017.

FOCKINK, G. D.; PEREIRA, M. R. C.; BORGES N. J; SCHUMACHER, M. V. **Estimativa da biomassa e estoque de carbono em povoamento de Pinus spp. de 45**

anos de idade no sul do Brasil. In: CONGRESSO DE PLANTAÇÕES FLORESTAIS, 26., 2023, Piracicaba. Série Técnica IPEF. Piracicaba: Ipef, 2023. p. 594-597.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos.** Curitiba, 1994. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GALESKI, G. **Avaliação do crescimento de árvores longevas de** *Pinus elliotti* **na Floresta Nacional de Três Bar**ras. 2022. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2022.

GOMES, F. S; MAESTRI, R; SANQUETTA, C. R. Análise financeira de regimes de manejo em povoamento de Pinus taeda L., visando a produção de madeira para a indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, v 22, n.3, p.227-243, 1998.

GOMIDE, L. R. MELLO, J. M. WEIMAR, F., ARCEBI J. F. W. SCOLFORO, J. R. (2014). Automated selective thinning via multicriteria maetaheuristic procedure. **Scientia Forestalis**, 42(102), 299-306.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246 p.

GRODSKY, S. M. MOORMAN, C. E. FRITTS, S. R. HAZEL, D. W. HOMYACK, J. A. CASTLEBERRY, S. B. WIGLEY, T. B. Supplying renewable energy for Canadian cement production: Lifecycle assessment of bioenergy from forest harvest residues using mobile fast pyrolysis units**. Forest Ecology Manager**, 379, 91–101, 2016.

HEBERLE, T. **Influência de diferentes intensidades de desbastes seletivos alto desenvolvimento de** *Pinus taeda* L. 2024. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2024.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U.S**. Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora UFPR, 1998. 162 p.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2016). **Plano De Manejo Da Floresta Nacional De Três Barras** – Volume I – Diagnóstico. Brasília.

IBÁ – Industria Brasileira de Árvores: **Relatório anual 2023**. Brasília, 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da Silvicultura**, 2019.

KERSHAW JR. et al. **Forest Mensuration**. 5ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. Cap. 8, pg 210-272.

KONSTANTIN, P.; KONSTANTIN, M. Chapter 2: **Financial Mathematics**. In: KONSTANTIN, P.; KONSTANTIN, M. Power and Energy Systems Engineering Economics: Best Practice Manual. 1 ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2018. Cap 2, pg 5-25.

KOHLER, S.V, et al. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina**. Floresta**, v. 45, n. 3, p. 545, 24 jan. 2015.. http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i3.35746.

LAVRINI, B.A. VUADEN, E. WEBER, V. P. **Relação hipsométrica para árvores dominantes em plantios de** *Pinus taeda* L**. no sul do Brasil**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 9., 2022, Brasília. Anais [...] . Brasilia: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2022. p. 448-451.

LIMA, B. A; NICOLETTI, M. F.; STEPKA, T. F; SILVA, M. T. S. da; SOARES, P. R. C.. Impactos dendrométricos e econômicos de um povoamento de *Pinus elliottii* submetidos a produção de resina. Advances In Forestry Science, v. 8, n. 2, p. 1475-1487, 1 set. 2021. **Advances in Forestry Science**. http://dx.doi.org/10.34062/afs.v8i2.9357.

LIMA, J. C. et al. Reference Genes for PCR Analysis in Resin-Tapped Adult Slash Pine As a Tool to Address the Molecular Basis of Commercial Resinosis**. Frontiers In Plant Science**, v. 7, n. 849, p. 1-13, 16 jun. 2016. [S.I]. Frontiers Media SA.

LOPES, H. V. S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos.** 1990. 188 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

MACHADO, S. A. OLIVEIRA, E. B. CARPANEZZI, A. A. BARTOSZECK, A C. P. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 35, n. 4, p. 21-37, jul. 1997.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2.ed. (2ª reimpressão) Guarapuava: Editora Unicentro, 2014, 316 p.

MAESTRI, R. **Manejo Florestal para obtenção de múltiplos produtos**. Trabalho apresentado na Semana do Meio Ambiente, 3: Produção e proteção – a busca do desenvolvimento sustentável, Lavras, 1994.

MAESTRI, R. et al. Modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente. REVISÃO. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 14, n. 3, p. 103-110, set/dez, 2013.

MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Produção de Pinus taeda L. na região de Cambará Do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 39- 52, 1996.

MATTOS, R. L. G; CHAGAS, F. B. das; GONÇALVES, R. M. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27 , p. 121-156, mar. 2008.

MANCINI, J.C; **Mercado de Toras. In: Proceedings of the Workshop de desbaste e poda em plantios florestais**, 2011; Colombo. Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, 2011.

MANGA, J. A. **Estimativa de crescimento de Pinus taeda L. em Inhamacari usando a técnica de análise de tronco**. 2011. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2011.

MDIC – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Balança comercial. Mar, 2018.

MEDEIROS, G. I. B. FLORINDO, T. J. SCHULTZ, G. TALAMANI, E. Análise da competitividade da cadeia produtiva de oleoresina de Pinus Brasileira. **Revista Espacios**, v. 39, p. 29, 2017.

MORAES, M. D. A. SILVA, M. F. BARBOSA, P. V. G. MARQUES, R. SILVA, R. T. SETTE JÚNIOR C. R. **Characterization of** *Khaya ivorensis* (A. Chev) **biomass, charcoal and briquetes**. Scientia Forestalis, vol. 47, no. 121, pp. 34-44, 2019.

MOREIRA, J. P. et al. Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii var. elliottii* em idade precoce para produção de madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 78, p. 99-109, abr./jun., 2014.

NAKAJIMA, N.Y. et al. Comparação da precisão entre os métodos de amostragem linha e parcela circular concêntrica em povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v.9, n.2, p.131-139, 2011.

NEIS, F. A. et al. Multiple industrial uses of non-wood pine products. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 130, p.248-258, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.088.

NICOLETTI, M. F. LAMBERT, L. SOARES, P. R. C CRUZ, G. S. ALMEIDA, B. R. S. Influência do primeiro desbaste no crescimento de quatro espécies do gênero Pinus. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 1-9, 21 fev. 2022. http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n1e9527.

NICOLETTI, M. F. SOUZA, K. SILVESTRE, R. FRANÇA, M. C. ROLIM, F. A. Relação Hipsométrica para *Pinus taeda L.* em Diferentes Fases do Ciclo de Corte. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 80-89, 19 fev. 2016. http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.051513.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica**. São Paulo: Atlas, 1987. 269 p.

OLIVEIRA, H. G. B. de. **Produção e viabilidade econômica de *Cupressus lusitanica* P. Miller submetido a diferentes estratégias de manejo**. 2024. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Huga, 2024.

PEREIRA, J. C. D; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 49, p. 61–81, 2004.

PIEKARSKI, C. M.; CARLOS DE FRANCISCO, A.; LUZ, L. M.; ALVARENGA, T. H. P.; BITTENCOURT, J. V. M. Environmental profile analysis of MDF panels production: study in a brazilian thecnological condition. **Cerne**. V. 20. N.3. P. 409-418. 2014.

PUNCHES, J. **Tree growth, forest management and their implications for wood quality.** Pacific Northwest Extension: Oregon State University, 2004. 8 p.

REMASA REFLORESTADORA S.A. **Plano de Manejo Florestal: Resumo Público**. 7 eds. Bituruna: Grupo Remasa, 2016. 26 p

RENNOLLS, K. PEACE, A. Flow models of mortality and yield for unthinned forest stands. **Forestry,** London, v. 59, n. 1, p. 47-58, 1986.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Universidade Federal Viçosa, 2001. 389p.

RIBEIRO, A. FILHO, A. C. F. MELLO, J. M. FERREIRA, M. Z. LISBOA, P. M. M. SCOLFORO, J. R. S**.** Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus sp*, **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 22-31, jan./mar. 2010.

SANTINI, E. J. HASELEIN, C. R. GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p.85-93, 2000.

SANQUETTA, C. R., CORTE, A. P. D., RODRIGUES, A., & WATZLAWICK, L. F. (2014). **Inventários florestais: Planejamento e execução** (406 p.). Curitiba: Multi-Graphic.

SANQUETTA, C. R. DURIGAN, A. SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D. MAAS, G. C. B. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para Aroeira. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 812-821, 24 jun. 2016. http://dx.doi.org/10.18677/enciclopedia_biosfera_2016_070.

SANTOS, R. M. M. dos. **Planejamento e otimização de plantios de Pinus taeda L. NA região oeste do estado de Santa Catarina, Brasil.** 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2015.

SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 4, p. 481-491, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da Produção Florestal**. Santa Maria: UFSM, 2004. 493 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 171-184, 30 mar. 1999. http://dx.doi.org/10.5902/19805098292.

SCHUCHOVSKI, M. S. ARCE, J. E. OLIVEIRA, E. B. Altura dominante e índice de sítio para Pinus taeda em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, 47(121), 92-104, 2019. http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v47n121.09.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**, n.50, p.51-64, 1996.

SFB. **Manual de campo: Procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais**. Serviço Florestal Brasileiro. 2019.

SILVA, M. L; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, dez. 2005. http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622005000600012.

SMITH, D. M. LARSON, B. C. KELTY, M. J. ASHTON, P. M. S. **The practice of silviculture: applied forest ecology**. 1997, 537 p.

SOARES, T. S. et al. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p.811-820, 2003.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de taper não segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de** *Eucalyptus sp.* 94 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

SOUZA, C. A. SILVA, G. F. XAVIER, A. C. MENDONÇA, A. R. ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus sp*. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 387 - 399, 2008.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: Estrutura, dinâmica e manejo.** Viçosa: UFV, 2013. 322p.

SPINELLI, R**. Harvesting of thinnings** (6 p.). Florence: National Council for Research, Timber and Tree Institute, 2004.

STALL, D. **Avaliação econômica e análise de sensibilidade de regimes de manejo em florestas de** *Pinus taeda* L. **no Planalto Serrano de Santa Catarina**. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais). UFPR – Curitiba-PR, 2012.

STCP. **Oportunidades para florestas energéticas na geração de energia no Brasil**. STCP Engenharia de Projetos LTDA. Curitiba, 2015.

TOPANOTTI, L. R. **Produção florestam em plantio de** *Cupressus lusitanica* Mill **sob cobertura de** *Pinus taeda* L. **no Planalto Catarinense**. 2020. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020.

TEMPS, M. **Adição da precipitação pluviométrica na modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos não desbastados de** *Pinus taeda L*. Dissertação (Mestrado), Setor de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2005. 117p.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests.** Wallingford: CAB International. 1994.

VARNIER, M. **Biogeografia cultural dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* no planalto catarinense**: uma análise a partir da palinologia e sensoriamento remoto. 2021. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia – Licenciatura, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2021.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. **Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira?** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 39, p. [281]-342, mar. 2014.

VIVIAN, M. A. et al. Ciclos de produção de *Pinus taeda* L. com mais de 30 anos: uma alternativa para obtenção de madeira para usos sólidos e estruturais. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 573-596, 24 jun. 2022. http://dx.doi.org/10.5902/1980509842430.

WEBER, V. P.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D.; SOUZA, C. A. M.; MUNARETO, F. F.; SILVA, L. T. M. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 193-201, 2013.

WESTROCK. **Resumo Público do Plano de Manejo**. Três Barras: Divisão Florestal WestRock, 2017. 32 p

ZHAO D.; BORDERS, B.; WANG, M.; KANE, M. Modeling mortality of second-rotation loblolly pine plantations in the Piedmont/Upper Coastal Plain and Lower Coastal Plain of the southern United States**. Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 252, n.1-3, p. 132-143, 2007.