

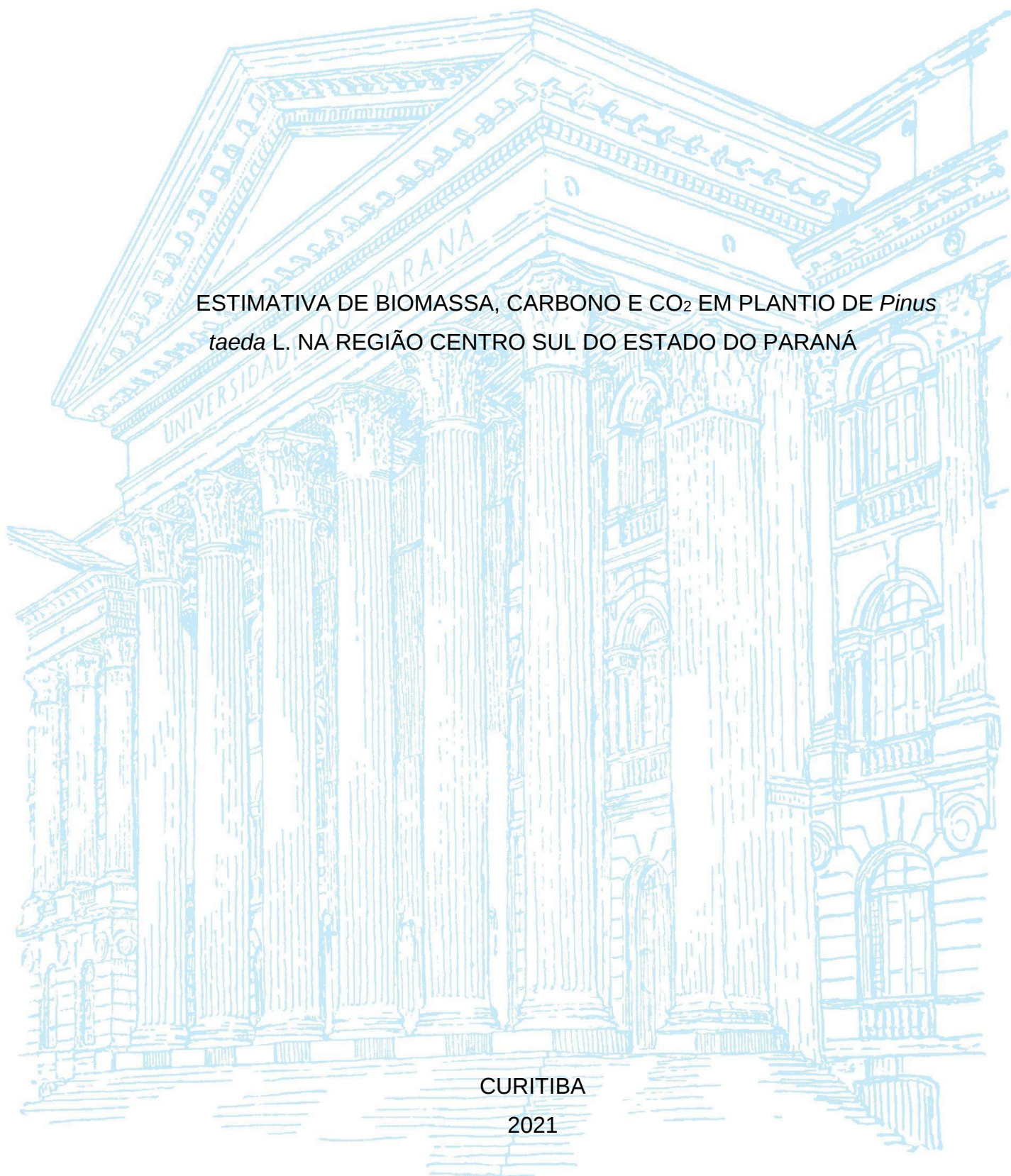
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DAFNÉ BRASSOLOTTO AMORIM

ESTIMATIVA DE BIOMASSA, CARBONO E CO₂ EM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO SUL DO ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2021



DAFNÉ BRASSOLOTTO AMORIM

ESTIMATIVA DE BIOMASSA, CARBONO E CO₂ EM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO SUL DO ESTADO DO PARANÁ

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha mãe Elide, meu pai Sérgio, meu irmão Mateus e meu namorado Wesley por todo suporte, companheirismo e incentivo durante a graduação.

Aos meus amigos, em especial: Victória, Amanda, Vivian, Aislyn, Nicole, Henrique, Tatiana, Paula, Thaisi, Islaine, Vanessa e Jefter por toda ajuda, parceria e paciência.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), aos professores do departamento de Engenharia Florestal, aos demais servidores pela contribuição acadêmica e profissional.

Ao meu orientador professor Dr. Júlio Eduardo Arce pela disponibilidade, orientação e paciência.

À Empresa Remasa Reflorestadora, pela colaboração e confiança para a realização deste trabalho, em especial ao escritório de planejamento florestal por todo conhecimento adquirido durante o período de estágio

RESUMO

As florestas brasileiras representam grande importância em diversos contextos, em especial aos serviços ecossistêmicos. Por meio da fotossíntese, sequestram e armazenam carbono em sua biomassa, contribuindo com a mitigação dos gases causadores do efeito estufa. Diante disto, devido ao rápido crescimento e as altas taxas de sequestro de carbono, as florestas plantadas de *Pinus taeda* L. geram grande interesse sobre a interação da espécie com a variável. O presente trabalho objetiva estimar e avaliar a produção de biomassa, estoque de carbono e carbono equivalente ($\text{CO}_2 \text{ eq}$) em plantio florestal de *P. taeda*, comparando as variáveis em função do sistema de manejo. Para as estimativas, empregou-se metodologia indireta, através de modelos estatísticos, como entrada, utilizou-se o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura da árvore (h). Os valores utilizados são oriundos da fazenda Santa Emília, localizada no município de Pinhão, região Centro-Sul do Paraná. O local de estudo pertence a empresa Remasa Reflorestadora S.A. Os dados foram coletados no ano de 2021, durante os inventários contínuos, em plantios com idades entre 5 a 19 anos e submetidos a dois sistemas de manejo: sem desbaste e com primeiro desbaste. Para processamento dos dados, utilizou-se a linguagem R e o *software* Excel. A primeira etapa do processamento ocorreu por meio das estimativas de altura para todas as árvores da parcela, seguido pela estimativa de biomassa, carbono e $\text{CO}_2 \text{ eq}$. Ao analisar os resultados, verificou-se que, tanto a produção de biomassa quanto o estoque de carbono e $\text{CO}_2 \text{ eq}$, foram variáveis para os plantios em função do sistema de manejo adotado. O sistema sem desbaste obteve menor produção de biomassa individual e maior produção de biomassa por unidade de área, quando comparado com sistema de manejo com primeiro desbaste. Para o estoque de carbono e $\text{CO}_2 \text{ eq}$, os dados seguiram a mesma tendência. O compartimento arbóreo mais representativo, tanto na produção de biomassa quanto em estoque de carbono e $\text{CO}_2 \text{ eq}$ foi o fuste, aplica-se esta constatação para manejo sem desbaste e com primeiro desbaste. Com essas informações, o manejo florestal pode ser direcionado ao atendimento de distintos objetivos para o plantio, como estocar carbono, por exemplo. Ressalta-se que os valores obtidos neste estudo são estimados, representando o potencial da área. Para que sejam validados em projetos futuros, faz-se necessário utilizar o método direto para quantificação.

Palavras-chave: Sistema de Manejo. Desbaste. Densidade.

ABSTRACT

Brazilian forests are of great importance in different contexts, especially for ecosystem services. Through photosynthesis, they sequester and store carbon in their biomass, contributing to the mitigation of greenhouse gases. Therefore, due to the rapid growth and high rates of carbon sequestration, the *Pinus taeda* L. planted forests generate great interest in the interaction of the species with the variable. The present work aims to estimate and evaluate the production of biomass, carbon stock, and carbon equivalent ($\text{CO}_2 \text{ eq}$) in *P. taeda* forest plantations, comparing the variables as a function of the management system. For the estimates, an indirect methodology was used, through statistical models, as input, the diameter at breast height (DBH) and the height of the tree (h) were used. The amounts used come from the Santa Emília farm, located in Pinhão city, in the Center-South region of Paraná. The study site belongs to the company Remasa Reflorestadora S.A. Data were collected in 2021, during continuous inventories, in plantations aged between 5 and 19 years and submitted to two management systems: no thinning and with first thinning. For data processing, R language and Excel software were used. The first stage of processing took place through the height estimates for all trees in the plot, followed by the estimation of biomass, carbon, and $\text{CO}_2 \text{ eq}$. By analyzing the results, it was found that both the biomass production and the carbon and $\text{CO}_2 \text{ eq}$ stock were variable for the plantations depending on the management system adopted. The system without thinning had lower individual biomass production and greater biomass production per unit area when compared to the management system with the first thinning. For carbon stock and $\text{CO}_2 \text{ eq}$, the data followed the same trend. The most representative arboreal compartment, both in biomass production and in carbon and $\text{CO}_2 \text{ eq}$ stock was the bole. This finding applies to management without thinning and with first thinning. With this information, forest management can be directed towards meeting different objectives for planting, such as storing carbon, for example. It is noteworthy that the values obtained in this study are estimated, representing the potential of the area. For them to be validated in future projects, it is necessary to use the direct method for quantification.

Keywords: Management System. Thinning. Density.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - RELAÇÃO DOS ESTADOS PRODUTORES DO GÊNERO PINUS.....	18
FIGURA 2 - CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE <i>P. taeda</i>	19
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA FAZENDA SANTA EMÍLIA.....	23
FIGURA 4 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA FAZENDA SANTA EMÍLIA.....	24
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PROJETOS.	25
FIGURA 6 - FLUXO DO PROCESSAMENTO DOS DADOS	26
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA POR INDIVÍDUO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO	30
FIGURA 8 - PROPORÇÃO DE BIOMASSA DOS COMPONENTES ARBÓREOS...	31
FIGURA 9 - COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL (KG/ÁRVORE) EM FUNÇÃO DA IDADE E SISTEMA DE MANEJO.	32
FIGURA 10 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.....	34
FIGURA 11 - PROPORÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO DOS COMPONENTES ARBÓREOS.....	34
FIGURA 12 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.	38
FIGURA 13 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DE CO ₂ eq EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS TALHÕES DE REFLORESTAMENTO.....	24
TABELA 2 - TEOR DE CARBONO POR COMPARTIMENTO ARBÓREO	27
TABELA 3 - VALORES TOTAIS DE BIOMASSA EM KG/ÁRVORE	29
TABELA 4 - VALORES TOTAIS DE BIOMASSA EM TONELADA/HECTARE	33
TABELA 5 - VALORES TOTAIS DO ESTOQUE DE CARBONO EM TONELADA/HECTARE.....	36
TABELA 6 - VALORES TOTAIS DE CO ₂ eq EM TONELADA/HECTARE	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	IMPORTANCIA DO GÊNERO <i>PINUS</i> SPP. NO BRASIL.....	18
2.2	<i>PINUS TAEDA</i> L.....	18
2.3	BIOMASSA FLORESTAL	19
2.3.1	Carbono na Biomassa	20
2.3.2	Métodos de estimativa.....	20
2.3.2.1	Método Indireto.....	20
2.4	SISTEMA DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	LOCALIZAÇÃO.....	22
3.2	ORIGEM DOS DADOS.....	23
3.3	ESTIMATIVA DE ALTURA, BIOMASSA, CARBONO E CO ₂ EQ	26
3.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	ESTIMATIVA DE BIOMASSA.....	29
4.2	ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO	34
4.3	ESTIMATIVA DE CO ₂ EQ.....	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
6	REFERÊNCIAS.....	43
7	ANEXOS	47

1 INTRODUÇÃO

O plantio do gênero *Pinus* spp. se iniciou no Brasil com os incentivos fiscais na década de 1960 (EMBRAPA, 2014). Hoje, as áreas produtivas florestais representam grande importância na geração de multiprodutos, atendendo diversos segmentos da indústria, como: compensados, móveis, celulose, dentre outros. O Brasil possui destaque internacional nesses segmentos (IBA, 2020).

Por meio da fotossíntese, as árvores absorvem e armazenam carbono em sua biomassa, realizando assim, um serviço ambiental essencial a humanidade (SILVEIRA *et al.*, 2007). De acordo com o mesmo autor, podemos dizer que, ao longo do crescimento vegetativo, o carbono é sequestrado da atmosfera e fixado na biomassa. Este carbono pode ser convertido em teores de CO₂ eq. Por este fator, desperta-se um grande interesse em conhecer esta dinâmica, uma vez que, com os avanços industriais, as taxas de emissões de gases do efeito estufa são cada vez maiores.

De acordo com Lima (2014), o rápido crescimento vegetativo das florestas plantadas, em especial das florestas de *P. taeda*, geram áreas que possuem elevadas taxas de fixação de CO₂ eq na biomassa, de modo que há a mitigação dos gases causadores de efeito estufa.

Diante da importância de estudos para tal quantificação de biomassa, são necessários usos de metodologias fidedignas para haver consistência nos dados. Para tanto, a biomassa pode ser obtida por meio dos métodos diretos e indireto. O primeiro consiste na derrubada de árvores em campo, pesagem e análise do material em laboratório. No método indireto, faz-se uma estimativa das variáveis através de equações estatísticas. Desta forma, as metodologias indiretas nos retornam estimativas confiáveis de forma rápida e objetiva, com dados de fácil obtenção em campo, como diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura da árvore (VALERIO, 2009).

Os métodos direto e indireto são amplamente utilizados para estimativa de biomassa. Na literatura, encontram-se diversos estudos com a aplicação em distintas situações. Carvalho *et al.* (2021) utilizaram do método direto para quantificação de biomassa e o método indireto para estimativa de carbono e CO₂ eq em plantio misto de *Pinus* spp. Silva *et al.* (2015) fizeram uso de três metodologias indiretas para estimar e comparar o estoque de carbono em área de restauração no estado de Minas Gerais.

De modo geral, a densidade inicial e pós-desbaste do plantio afetam a quantidade de produção de biomassa. Espera-se que, em áreas com menos espaço vital, as árvores produzam maior quantidade de biomassa por unidade de área (LIMA, 2014).

Diante do exposto, a realização deste trabalho se faz necessária, pois, além de estimar biomassa, carbono e CO₂ eq, a avaliação do comportamento do plantio florestal em função do sistema de manejo é uma análise importante na tomada de decisão para administração da floresta. Espera-se um comportamento distinto da floresta em relação a produção destas variáveis, de modo que o manejo florestal pode ser direcionado em função do objetivo do plantio e da produção individual ou por unidade de área.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estimar e avaliar a produção de biomassa e o estoque de carbono e CO₂ em plantio de *P. taeda*.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estimar a produção de biomassa, carbono e CO₂ em plantio de *P. taeda* com equações ajustadas por Carvalho (2017);
- Relacionar as três variáveis estimadas em função do sistema de manejo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

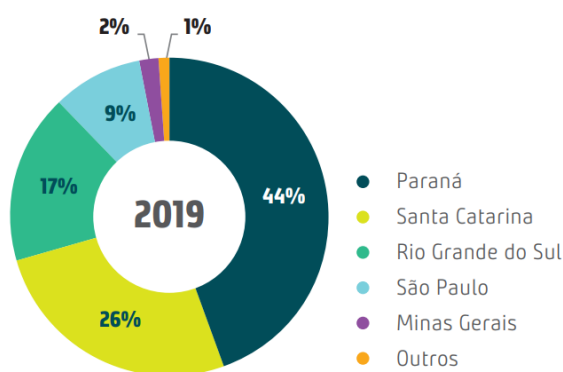
2.1 IMPORTANCIA DO GÊNERO *Pinus* spp. NO BRASIL

A cada ano a indústria florestal vem se destacando nacionalmente. Além do aspecto econômico, o setor tem mostrado grande importância para o desenvolvimento social e ambiental (IBA, 2020).

Em 1936, as espécies subtropicais do gênero *Pinus* spp. foram introduzidas no Brasil pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo. Com a difusão do programa de incentivo fiscal para reflorestamento em 1960, deu-se início às plantações comerciais das regiões Sul e Sudeste (EMBRAPA, 2014).

No ano de 2019, as superfícies de plantações florestais somaram 9 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação ao ano de 2018. Deste total, 1,64 milhões de hectares (18%) representam as plantações de *Pinus* spp. A região sul do Brasil concentra a maior parte desta produção, cerca de 84%. O estado do Paraná possui destaque como o maior produtor (IBA, 2020).

FIGURA 1 - RELAÇÃO DOS ESTADOS PRODUTORES DO GÊNERO PINUS



FONTE: FGV e IBÁ (2020).

2.2 *Pinus taeda* L.

Espécie arbórea de ocorrência norte-americana, podendo ser encontrada em 15 estados entre as altitudes de 0 a 700 m. Em seu ambiente nativo, pode atingir diâmetro de 152 cm e altura total de 45 metros (TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2016).

No Brasil, é a espécie mais plantada do gênero, com uso multivariado, as aplicações são para a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas, dentre outros usos. As árvores se desenvolvem bem nas regiões com clima fresco, inverno frio e com disponibilidade constante de umidade ao longo do ano. Esta condição é encontrada em todo o planalto das regiões sul e sudeste do Brasil (EMBRAPA, 2014).

Uma das características desta espécie é a fácil colonização em áreas abertas, caracterizando-se como uma espécie exótica invasora. No entanto, para que esta denominação se concretize é necessário a ausência de predadores de sementes, grande disponibilidade de luminosidade e contato direto da semente com o solo. Se esses fatores estiverem presentes o estabelecimento da espécie é comprometido (EMBRAPA, 2014).

FIGURA 2 - CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE *P. taeda*.



FONTE: EMBRAPA (2014).

2.3 BIOMASSA FLORESTAL

Para Sanquetta (2002), biomassa é definida como a massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Nas florestas, biomassa é toda porção ou fração arbórea acima (folhas, galhos e fuste) ou abaixo do solo (raízes).

A produção de biomassa é resultado da interação de alguns fatores como: idade, localização geográfica, condições climáticas, variação genética, qualidade do sítio, densidade, técnicas silviculturais e época de amostragem (VALERIO, 2009). Carvalho (2017) afirma que além dos fatores citados anteriormente, as variáveis solo, espécie e densidade do povoamento interferem diretamente na produção de biomassa.

2.3.1 Carbono na Biomassa

Os plantios florestais, quando em desenvolvimento, fixam carbono em sua biomassa e a longo prazo possuem um amplo armazenamento deste elemento em sua estrutura (CARVALHO, 2017). Os plantios florestais são conhecidos como um dos meios mais importantes no sequestro e armazenamento de carbono, devido à facilidade de estocagem do elemento tanto na biomassa aérea quanto abaixo do solo (MORAIS, 2012).

Conforme Valerio (2009), as estimativas de biomassa e carbono são vistas como importantes ferramentas de análise técnica e planejamento de projetos e estudos de viabilidade para organizações que visam se adequar em alguma categoria de projetos no mercado de crédito de carbono.

2.3.2 Métodos de estimativa

Segundo Silveira *et al.* (2007) a quantificação de biomassa pode ser feita pela metodologia direta e metodologia indireta. Os métodos diretos consistem em uma abordagem destrutiva, realização de medições em campo e laboratório dos compartimentos arbóreos. Enquanto nos métodos indiretos, a estimativa é feita, em sua maioria, através dos dados de inventário florestal.

Atualmente, as metodologias mais empregadas para estimativa de biomassa florestal utilizam dados do inventário como *input* e aplica-se fatores e equações de biomassa, que convertem dados de diâmetro, altura ou volume em tais estimativas (SOMOGYI *et al.*, 2006).

2.3.2.1 Método Indireto

O método indireto fundamenta-se em uma abordagem não destrutiva. Conforme Silveira *et al.* (2007), pode ser utilizado: sensoriamento remoto, fator de expansão e modelagem por técnicas de regressão.

Carvalho (2017) afirma que a forma mais utilizada para estimativas de biomassa florestal é a aplicação de equações alométricas a partir dos dados obtidos pelo inventário florestal e, simultaneamente determina-se o estoque de carbono

presente na biomassa. Entretanto, é necessário a validação do modelo alométrico com base em dados da quantificação feita pelo método direto.

De acordo com Silveira *et al.* (2007), como a maioria dos fenômenos naturais é tipicamente não-linear, a utilização de modelos não lineares para estimativa de biomassa retorna valores mais precisos.

Cada vez mais as ferramentas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas no setor florestal, uma vez que é possível estimar parâmetros biofísicos, como biomassa, carbono e volume de madeira, pelas propriedades espectrais dos alvos (troncos, galhos, folhas, etc.) (SILVEIRA *et al.*, 2007).

2.4 SISTEMA DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Uma das principais questões do manejo florestal é a escolha do espaço vital ao longo do ciclo da floresta, definido pela presença ou ausência de desbastes (LIMA, 2014). O desbaste florestal consiste na retirada de uma porcentagem de árvores do talhão, de modo que a densidade diminui. Ao realizar o desbaste temos como característica um plantio com diâmetro e produção de biomassa individual maior (DAVID *et al.*, 2016). Segundo Lima (2014), em plantio de *P. taeda* com altas densidades encontramos produção de fustes mais cilíndricos e diâmetros menores em relação a baixas densidades.

De acordo com Lima (2014), a tendência encontrada em talhões com baixa densidade é a produção de menor volume total de madeira por unidade de área, mas com diâmetros maiores devido a menor concorrência por espaço impulsionando assim, um crescimento em diâmetro acentuado. Ainda segundo o autor, povoamentos muito densos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro menor se compararmos com plantio pouco denso.

As variáveis arbóreas são proporcionais, a produção de biomassa está diretamente relacionada com o volume arbóreo, onde uma árvore com maior volume irá produzir maiores quantidades de biomassa e por sua vez maiores valores de estoque de carbono e CO₂ eq (CARVALHO, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

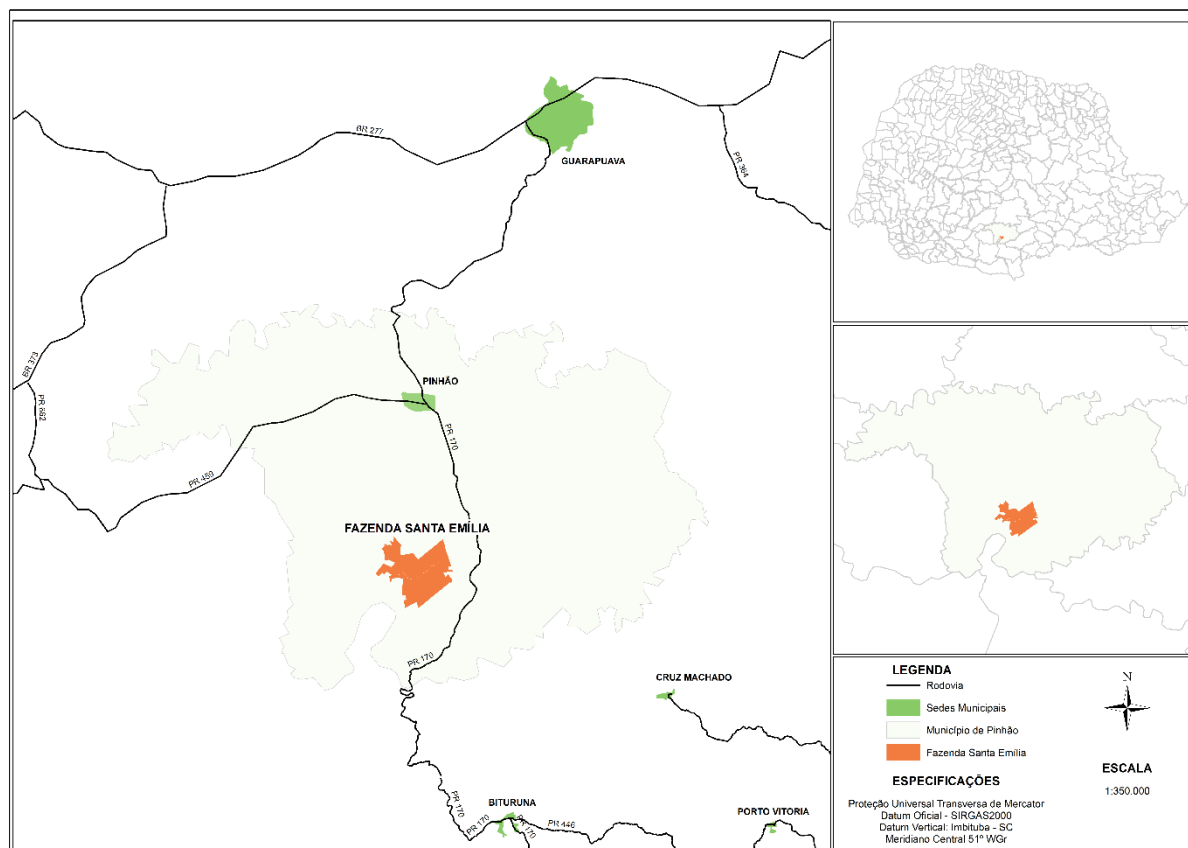
Os dados utilizados para a realização deste trabalho são oriundos de parcelas permanentes do inventário florestal contínuo da empresa Remasa Reflorestadora S.A. Os dados foram coletados em 2021 em parcelas alocadas na Fazenda Santa Emília, localizada no município de Pinhão – PR. A sede da fazenda situa-se sob as coordenadas geográficas 25°53'40"S e 51°37'1"W.

3.1 LOCALIZAÇÃO

A Fazenda Santa Emília, pertence ao município de Pinhão, mesorregião centro-sul Paranaense (IBGE, 2020). A distância em linha reta da cidade à capital do estado, Curitiba, é de 242 km (ROTAMAPAS, 2021). Pinhão possui clima Cfb segundo a classificação de Koppen, ITCG (2021), as especificidades desta classificação são: clima moderado, subtropical úmido e invernos com geadas. A temperatura média anual de é de 18°, média máxima de 37° e a mínima de 5,7° (PREFEITURA DE PINHÃO, 2021). A média anual de precipitação no período de 1980 a 2020 foi de 2100 mm por ano (IAT, 2020).

O município possui uma área territorial total de 2.001,588 km² e está localizado na bacia do Rio Iguaçu, que tem como principais rios: Rio Jordão, Rio Pinhão, Rio Iguaçu e Rio da Areia (IBGE, 2020). Em relação a altitude, a cidade está inserida em uma das regiões com maiores altitudes do estado, no perímetro municipal, a altitude média é de 984 m com mínima de 607 m e máxima de 1,364 m (TOPOGRAPHIC-MAP, 2021).

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA FAZENDA SANTA EMÍLIA

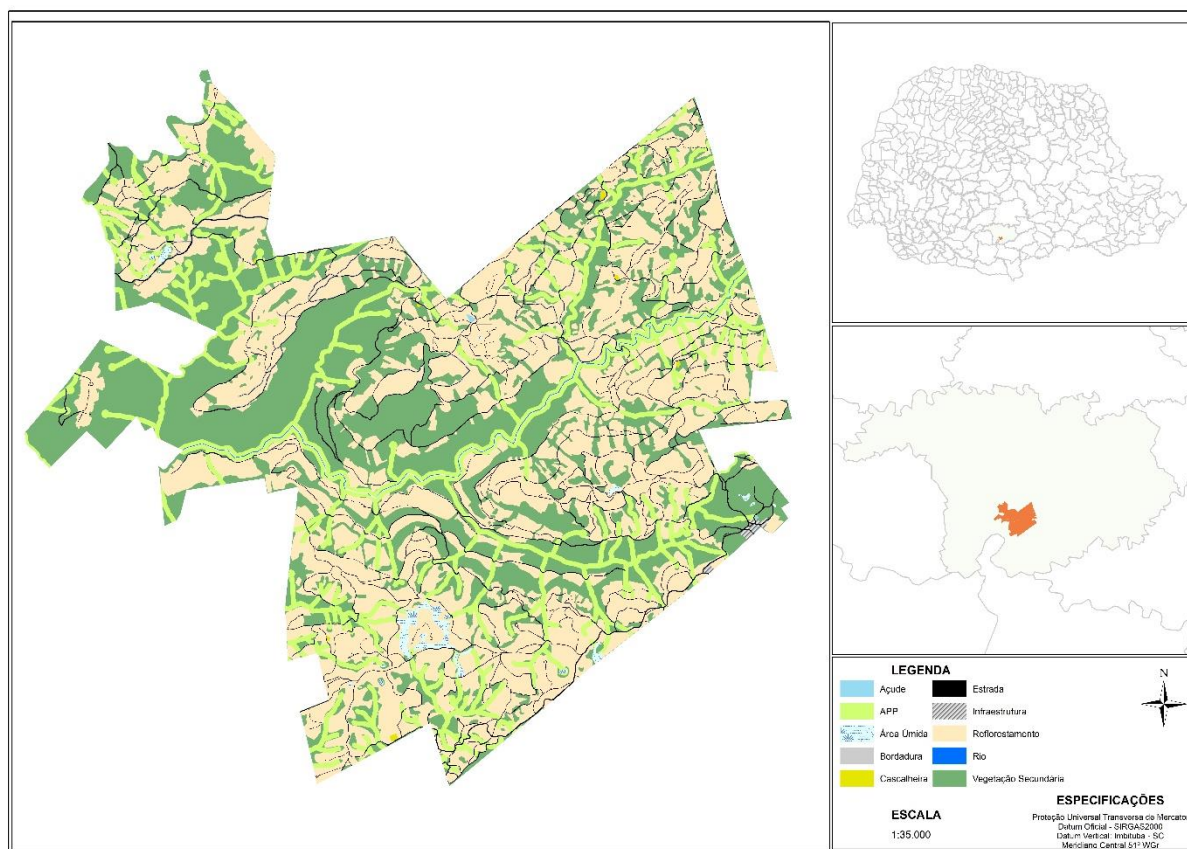


FONTE: A AUTORA (2021).

3.2 ORIGEM DOS DADOS

A Fazenda Santa Emília é uma propriedade particular da empresa Remasa. Na classificação de uso e ocupação do solo utiliza-se as seguintes tipologias: açude, APP, área úmida, bordadura, cascalheira, estrada, infraestrutura, reflorestamento, rio e vegetação secundária.

FIGURA 4 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA FAZENDA SANTA EMÍLIA.



FONTE: A AUTORA (2021).

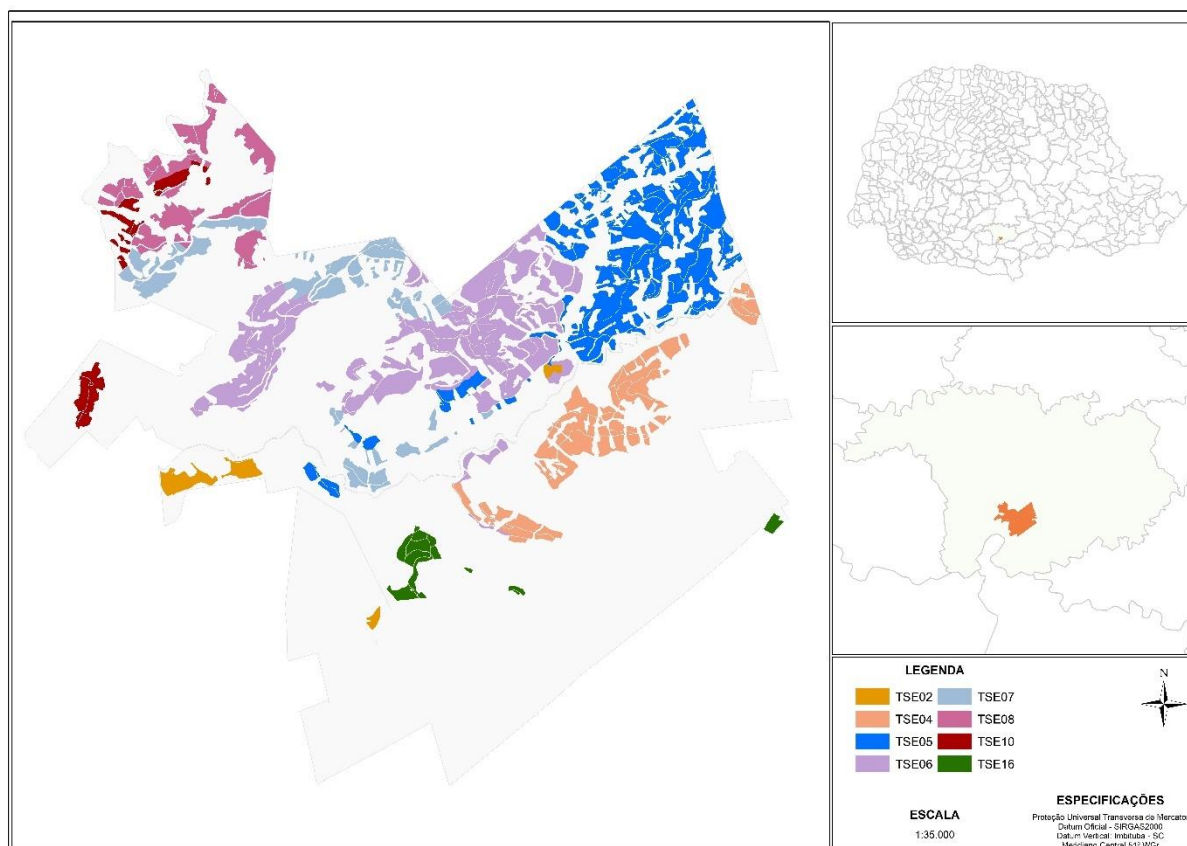
As áreas de reflorestamento, que são o objetivo deste estudo, possuem as características descritas na TABELA 1 e estão distribuídas espacialmente conforme demonstra a FIGURA 5. Os projetos com idades de 13, 14, 15, 16 e 17 anos possuem os dois sistemas de manejo nas áreas.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

Projeto	Área total (ha)	Sistema de Manejo	Idade do Plantio (anos)
TSE02	37,53	sem desbaste	19
TSE04	139,90	sem desbaste e 1 desbaste	17
TSE05	265,08	sem desbaste e 1 desbaste	16
TSE06	286,03	sem desbaste e 1 desbaste	15
TSE07	106,61	sem desbaste e 1 desbaste	14
TSE08	93,02	sem desbaste e 1 desbaste	13
TSE10	32,10	sem desbaste	11
TSE16	25,88	sem desbaste	5

FONTE: A AUTORA (2021).

FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PROJETOS.



FONTE: A AUTORA (2021).

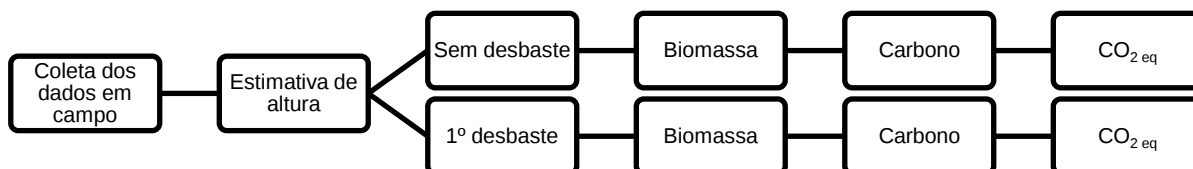
Para todos os projetos, o espaçamento de plantio é de 2,5 m x 2,5 m, desta forma 6,25 m² por árvore, totalizando 1.600 árvores por hectare de densidade inicial. Quando previsto para o manejo do projeto, realiza-se desbaste aos 9 anos, retirando 50% da densidade inicial do plantio, 20% de modo sistemático e 30 % de modo seletivo. Desta forma, a densidade remanescente é de aproximadamente 800 árvores por hectare.

Como forma de acompanhar a evolução do incremento da floresta e realizar prognoses, faz-se inventário contínuo. Inicia-se quando o plantio completa 5 anos e, a partir deste momento, ocorre a cada dois anos até o momento do corte raso do talhão.

Os dados do inventário florestal foram processados da seguinte maneira: a partir da coleta em campo dos valores de altura e DAP, realizou-se por meio de equação a estimativa de altura para todas as árvores da parcela. Com os dados de altura, os mesmos foram separados em função do sistema de manejo, sem desbaste

e 1º desbaste. Em seguida foi calculado separadamente a biomassa, o carbono e o CO₂ eq para cada sistema de manejo.

FIGURA 6 - FLUXO DO PROCESSAMENTO DOS DADOS



FONTE: A AUTORA (2021).

3.3 ESTIMATIVA DE ALTURA, BIOMASSA, CARBONO E CO₂ eq

Com os dados do inventário florestal, realizou-se a estimativa das alturas para as árvores com a equação amplamente utilizada para *P. taeda*, o modelo desenvolvido por Campos e Leite (ATANAZIO *et al.*, 2017; NICOLETTI *et al.*, 2016).

$$\ln(h) = b_0 + b_1 * \left(\frac{1}{d}\right) + b_2 * \ln(h_{dom}) + \varepsilon_i$$

em que: $\ln(h)$ = retorna a altura estimada por indivíduo (m); d = diâmetro a altura do peito (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ε = erro aleatório. eq

No estudo de Carvalho (2017), foi realizado o ajuste de equações para determinação de biomassa e a estimativa do teor médio de carbono por compartimento com os dados de plantio de *P. taeda*. aos 16 anos de idade na empresa Remasa. As equações ajustadas por compartimento para encontrar os valores de biomassa, bem como as estatísticas de qualidade de ajuste estão descritas a seguir.

Acícula:

$$y = 0,000029 (d)^{2,338523} * \left(\frac{1}{h}\right)^{-1,80661}$$

$$R^2_{aj} = 0,91 \mid S_{yx} \text{ (kg)} = 6,51 \mid S_{yx} \% = 23,72 \mid AIC = 103,4 \mid BIC = 114,0$$

Galho:

$$y = 0,00254 (d^2 h)^{1,056016}$$

$$R^2_{aj} = 0,91 \mid S_{yx} \text{ (kg)} = 23,37 \mid S_{yx} \% = 21,20 \mid AIC = 222,3 \mid BIC = 234,9$$

Fuste:

$$y = 0,234758 (d^2 h)^{0,713427}$$

$$R^2_{aj} = 0,89 \mid S_{yx} \text{ (kg)} = 52,06 \mid S_{yx} \% = 17,09 \mid AIC = 229,7 \mid BIC = 240,3$$

em que: y = biomassa de um determinado componente ou biomassa total (em Kg); d = diâmetro a altura do peito (DAP) (cm); h = altura total da árvore (m).

Após a obtenção dos valores de biomassa, realizou-se a conversão para o teor de carbono com os valores obtidos por Carvalho (2017).

TABELA 2 - TEOR DE CARBONO POR COMPARTIMENTO ARBÓREO

Compartimento	Teor de Carbono %
Acícula	43,3
Galho	43,5
Fuste	43,9

FONTE: ADAPTADO CARVALHO, 2017

Diante disso, as equações ajustadas para estimar biomassa, bem como os teores médios de carbono por compartimento, que foram utilizados neste trabalho advêm de Carvalho (2017).

A partir dos valores de carbono por compartimento, utilizou-se da expressão para encontrar os valores $CO_2 \text{ eq}$.

$$CO_2 = C_i * f_i$$

em que: CO_2 = dióxido de carbono (t CO_2); C_i = carbono (t ha^{-1}); f_i = fator de conversão de C para $CO_2 \text{ eq}$ (3,6667) (IPCC, 2003 apud CARVALHO *et al.* 2021).

3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para realizar as estimativas de biomassa, foi utilizada a linguagem R (R CORE TEAM, 2021), cujo *script* se encontra no ANEXO 1. Os demais dados foram processados com o *software* Excel (MICROSOFT EXCEL, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTIMATIVA DE BIOMASSA

Os valores totais em kg/árvore para as estimativas de biomassa em função do sistema de manejo, encontram-se na TABELA 3.

TABELA 3 - VALORES TOTAIS DE BIOMASSA EM KG/ÁRVORE

	Acícula kg/arv	Galho kg/arv	Fuste kg/arv	Total kg/arv
Sem Desbaste				
05 anos	0,62	5,93	42,68	49,23
11 anos	9,31	42,97	164,99	217,27
13 anos	11,06	48,93	180,15	240,14
14 anos	14,76	60,15	206,03	280,94
15 anos	14,15	59,21	205,05	278,41
16 anos	16,28	63,57	213,88	293,73
17 anos	22,21	80,49	252,00	354,70
19 anos	28,06	98,46	288,19	414,71
1° Desbaste				
13 anos	12,52	56,09	197,93	266,54
14 anos	14,21	60,55	208,49	283,25
15 anos	16,21	67,18	223,49	306,88
16 anos	21,00	81,15	254,70	356,85
17 anos	21,74	82,04	255,51	359,29

FONTE: A AUTORA (2021).

Analisando os dados acima, nota-se que o desbaste teve influência na produção de biomassa por compartimento arbóreo. Nas idades de 13, 14, 15, 16 e 17 anos é possível perceber que a diminuição da densidade inicial de plantio colaborou para a produção de biomassa. Para essas idades, o desbaste aumentou em média 25 kg/arv a produção de biomassa total.

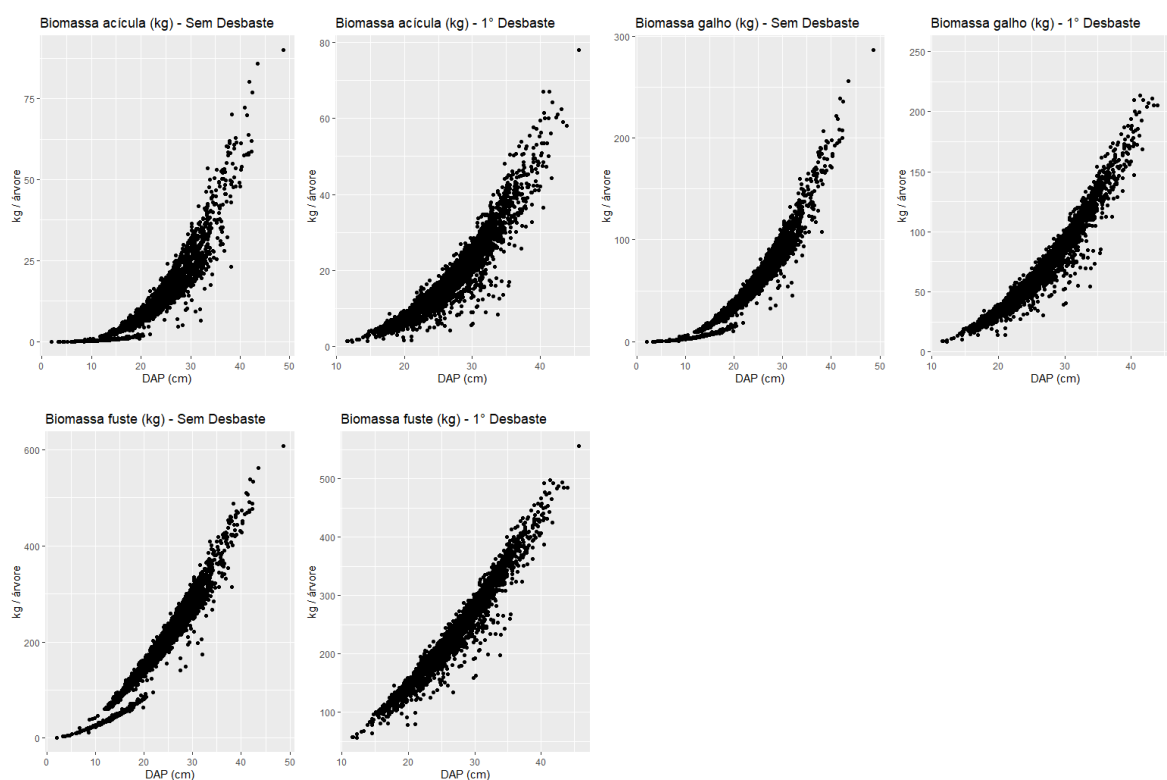
O observado é justificado pelo fato de que os indivíduos do plantio que sofreram desbaste possuem menos competição por luz, água, nutrientes e outros fatores que são essenciais para o crescimento vegetativo. Pode-se fazer a seguinte relação: quanto maior o espaço vital por árvore, maior é a produção de biomassa individual.

Carvalho (2017) encontrou valores médios de produção de biomassa individual para plantio de 16 anos no município de Bituruna - PR. Os valores obtidos para os compartimentos acícula, galhos, fuste e total, são respectivamente: 27,4 kg/arv, 110,2 kg/arv, 304,5 kg/arv e 442,2 kg/arv.

Lima (2014) estimou valor médio total de 123,2 kg/arv em plantio de *P. taeda* com 9 anos de idade na cidade de Irati - PR. Para o compartimento acícula, o autor encontrou o valor de 9,8 kg/arv, para galho 25,9 kg/arv e fuste 87,6 kg/arv. Observa-se ainda que a maior produção de biomassa está presente nos galhos e fuste, corroborando com Lima (2014) e Carvalho (2017) que também observaram este mesmo fato.

Por fim, na FIGURA 7 é possível verificar a distribuição da produção de biomassa arbórea em função do DAP da árvore.

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA POR INDIVÍDUO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO



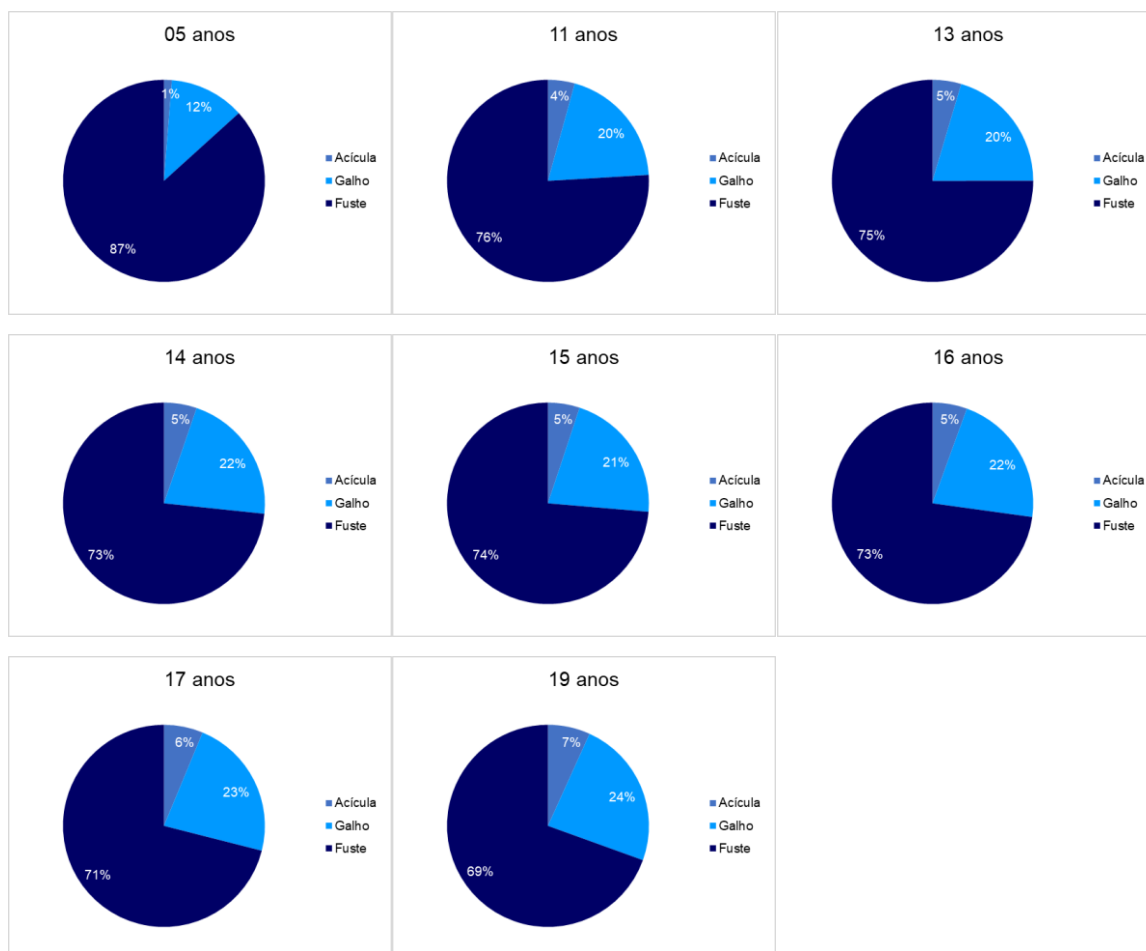
FONTE: A AUTORA (2021).

Na FIGURA 8, nota-se a proporção de biomassa por compartimento arbóreo nas diferentes idades e sistemas de manejo. De modo geral, para todas as idades e

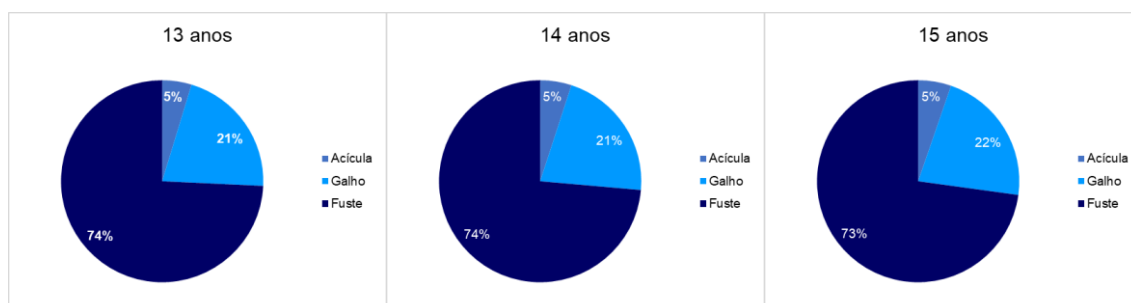
os sistemas de manejo, o compartimento que menos produziu biomassa é a acícula. O compartimento arbóreo que contribui com uma maior produção de biomassa foi o fuste.

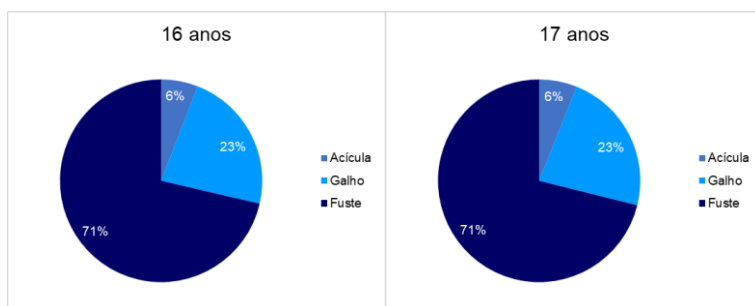
FIGURA 8 - PROPORÇÃO DE BIOMASSA DOS COMPONENTES ARBÓREOS

Sistema de Manejo - Sem Desbaste



Sistema de Manejo - 1º desbaste





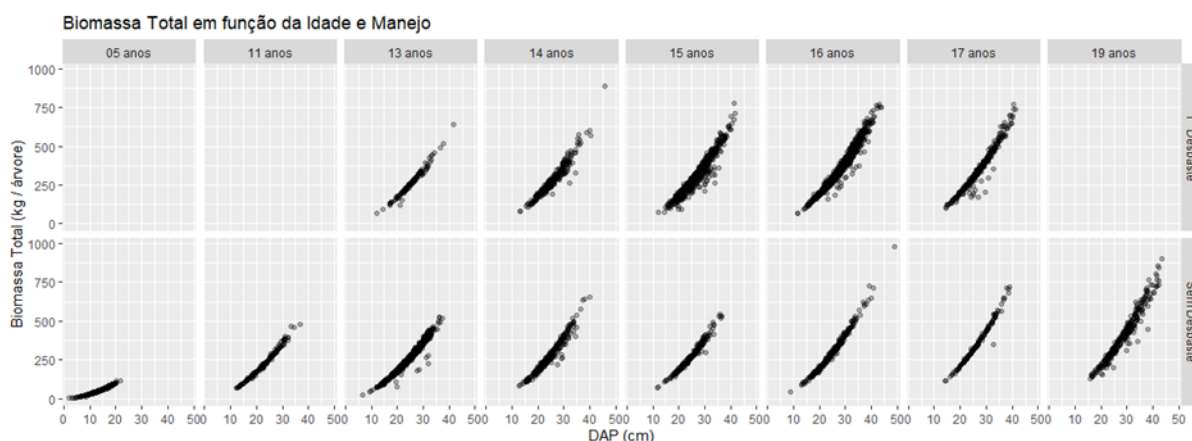
FONTE: A AUTORA (2021).

Em termos de proporção, os valores médios por compartimento arbóreo são de: Acícula sem desbaste: 4,75%; Acícula 1º desbaste: 5,4%; Galhos sem desbaste: 20,5 %; Galhos 1º desbaste: 22%; Fuste sem desbaste: 74,75%; e Fuste 1º desbaste: 72,6%. Carvalho (2017) encontrou proporção de 6,2% para acícula; 24,9% para galhos e 68,9% para fuste, enquanto Lima (2014) obteve resultado de 7% para acícula; 21% para galhos e 71% para fuste.

Outro diagnóstico é que com o avanço da idade do plantio, a acícula e os galhos possuem maior representatividade na produção de biomassa arbórea. Esta premissa pode ser aplicada aos dois sistemas de manejo.

Realizando um comparativo gráfico entre produção de biomassa total (kg/árv), idade e sistema de manejo, temos a FIGURA 9.

FIGURA 9 - COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL (KG/ÁRVORE) EM FUNÇÃO DA IDADE E SISTEMA DE MANEJO.



FONTE: A AUTORA (2021).

Convertendo os valores obtidos na unidade kg/árvore para toneladas/hectare, tem-se os seguintes números:

TABELA 4 - VALORES TOTAIS DE BIOMASSA EM TONELADA/HECTARE

	Acícula ton/ha	Galho ton/ha	Fuste ton/ha	Total ton/ha
Sem Desbaste				
05 anos	0,98	9,39	67,58	77,95
11 anos	11,55	53,35	204,86	269,76
13 anos	14,28	63,15	232,50	309,93
14 anos	16,42	66,91	229,21	312,54
15 anos	14,47	60,53	209,61	284,61
16 anos	18,72	73,10	245,96	337,78
17 anos	20,36	73,79	231,00	325,15
19 anos	20,91	73,38	214,77	309,06
1º Desbaste				
13 anos	8,63	38,64	136,35	183,62
14 anos	8,50	36,22	124,71	169,43
15 anos	9,42	30,06	129,92	169,40
16 anos	13,38	51,69	162,26	227,33
17 anos	13,41	50,59	157,56	221,56

FONTE: A AUTORA (2021).

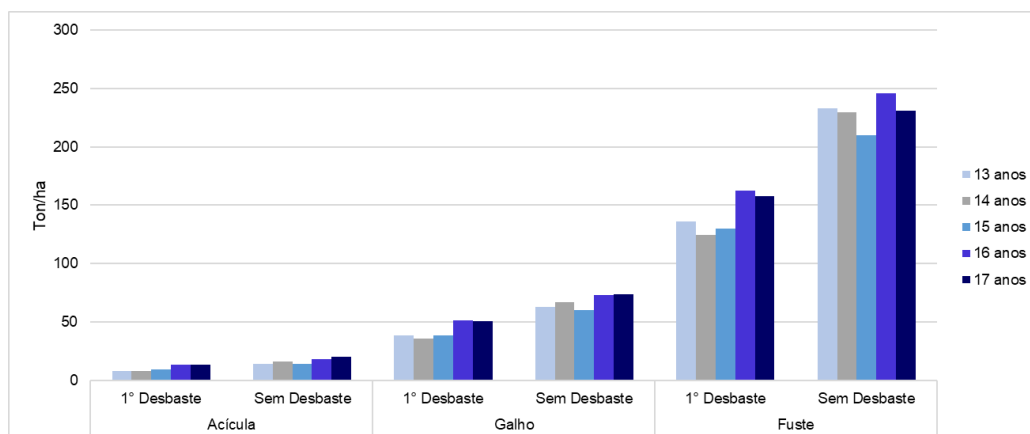
Nota-se que a produção de biomassa por unidade de área se distribuiu de modo que, em talhões com espaços vitais menores, houve maior produtividade devido a maior densidade. Comparando somente os talhões que possuem a mesma idade de plantio e os dois sistemas de manejo, o plantio com 17 anos sem desbaste produziu mais biomassa por hectare, de 325,15 ton/ha, enquanto o plantio de 13 anos com 1º desbaste, obteve a menor produção de biomassa, com 183,62 ton/ha. Partindo desta mesma comparação, o manejo sem desbaste produziu em média 120 ton/ha total, a mais que o manejo de 1º desbaste.

Balbinot *et al.* (2003), em seu estudo visando à estimativa do carbono em plantio de *P. taeda*, aos 5 anos de idade, no estado do Rio Grande do Sul, constataram valores de biomassa seca total de 41,5 ton/ha, considerando um total de 1666 árvores por hectare.

Por fim, Carvalho (2017) obteve, com plantio de *Pinus* spp. aos 16 anos, valores de 12,2 ton/ha para acícula; 48,9 ton/ha para galho e 135,3 ton/ha para fuste.

Na Figura 10, observa-se graficamente a influência da densidade do plantio na produção total de biomassa por unidade de área.

FIGURA 10 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.



FONTE: A AUTORA (2021).

A diferença entre os valores encontrados na literatura e os do presente estudo pode ser justificada pela influência do sítio, material genético, dentre outros fatores.

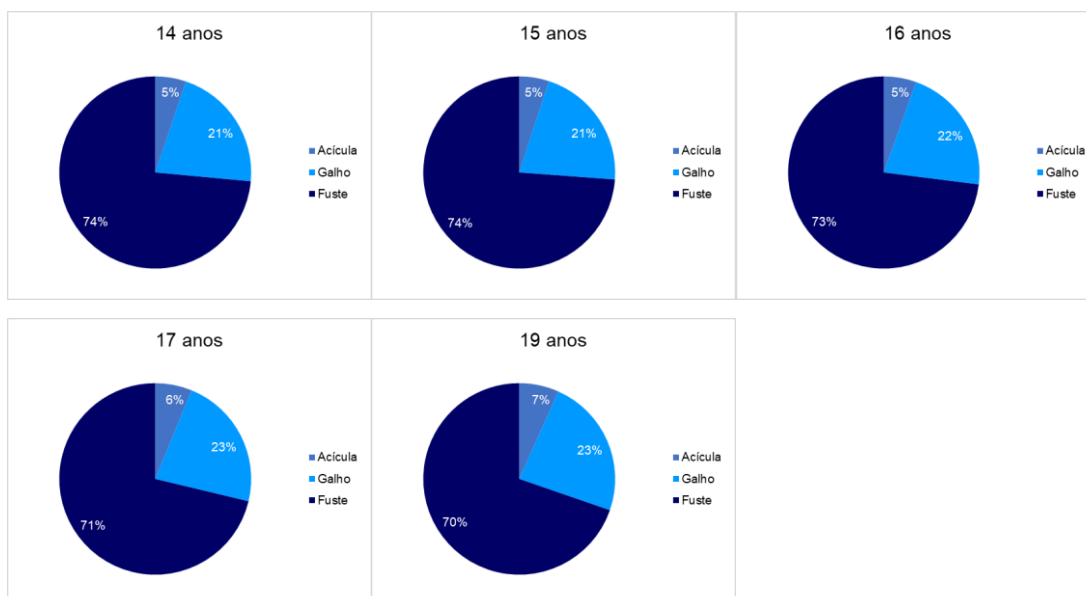
4.2 ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO

A proporção do estoque de carbono por compartimento arbóreo é observada na FIGURA 11. Nota-se que o fuste mais uma vez representa a maior porcentagem de estoque de carbono na biomassa vegetal.

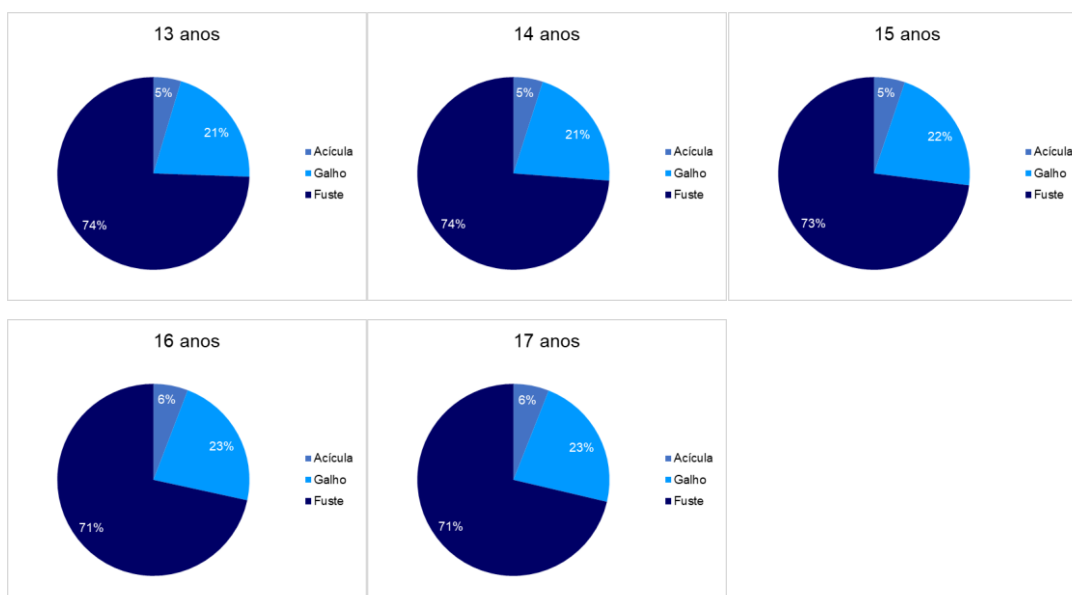
FIGURA 11 - PROPORÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO DOS COMPONENTES ARBÓREOS

Sistema de Manejo - Sem desbaste





Sistema de Manejo - 1º desbaste



FONTE: A AUTORA (2021).

Os valores médios para os componentes arbóreos com sistema de manejo sem desbaste são de: acícula, 4,75%; galho, 20,25%; e fuste, 75%. Para os componentes arbóreos submetidos a 1º desbastes, temos: acícula, 5,4%; galho, 22%; e fuste, 72,6%.

Carvalho (2017) encontrou valores médios de 5,8% para o componente acícula, 23,6% para galho e 71,2 % para fuste em plantio de *Pinus spp.* aos 16 anos. Por outro lado, Lima (2014) obteve os valores de 8% para acícula, 21% para galhos e 61% para fuste em plantio de 9 anos de *Pinus spp.*

As estimativas totais por unidade de área para estoque de carbono estão relacionadas a seguir:

TABELA 5 - VALORES TOTAIS DO ESTOQUE DE CARBONO EM TONELADA/HECTARE

	Acícula ton/ha	Galho ton/ha	Fuste ton/ha	Total ton/ha
Sem Desbaste				
05 anos	0,42	40,9	29,67	70,99
11 anos	5,00	23,21	89,93	118,14
13 anos	6,18	27,47	102,07	135,72
14 anos	7,11	29,11	100,62	136,84
15 anos	6,26	26,33	92,02	124,61
16 anos	8,10	31,80	107,98	147,88
17 anos	8,81	32,10	101,41	142,32
19 anos	9,05	31,92	94,29	135,26
1º Desbaste				
13 anos	3,73	16,81	59,86	80,40
14 anos	3,68	15,76	54,75	74,19
15 anos	4,08	16,99	57,04	78,11
16 anos	5,79	22,49	71,23	95,51
17 anos	5,81	22,01	69,17	96,99

FONTE: A AUTORA (2021).

Assim como a biomassa, o estoque de carbono foi maior em plantio que não sofreu desbaste, fato este justificável pela densidade populacional. O compartimento que mais contribuiu para o estoque de carbono arbóreo foi o fuste, seguido pelos galhos e acícula. Esta tendência também foi observada nos estudos realizados por Carvalho (2017). O estoque de carbono total em plantio sem desbaste foi em média 52 ton/ha maior que no manejo com 1º desbaste.

Segundo Carvalho (2017), o estoque de carbono nas coníferas pode variar acentuadamente entre os componentes da biomassa, pois depende das condições de sítio. As espécies de coníferas geralmente estocam menos carbono nas acículas e maiores quantidades na madeira. Observou-se este fato no presente estudo.

Em inventário realizado para estimar o estoque de carbono em plantio de *P. taeda*, aos 5 anos de idade, no Rio Grande do Sul, Balbinot *et al.* (2003) encontraram

18,8 ton/ha de carbono. O referido estudo possuía espaçamento de plantio de 3,0 m x 2,0 m, ou seja 6,0 m² /árvore, com 1.666 árvores por hectare.

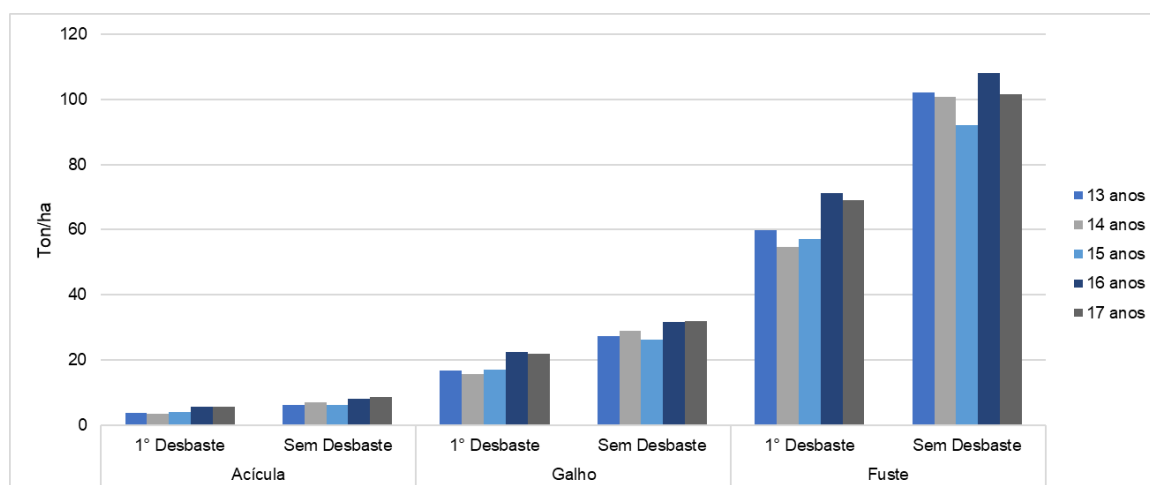
Sette Junior *et al.* (2005), objetivando a quantificação o sequestro de carbono em plantio de *P. taeda*, com idades distintas, de 5 a 26 anos, na região de Rio Negrinho, estado de Santa Catarina, encontraram o total de carbono sequestrado para as idades avaliadas de 6,5 ton/ha aos 5 anos, 82,2 ton/ha aos 12 anos, 109,9 ton/ha aos 18 anos, e 91,9 ton/ha na idade de 26 anos.

Schumacher *et al.* (2002) avaliaram o sequestro de carbono em povoamentos de *P. taeda* no estado do Rio Grande do Sul, os quais encontraram 18,7 ton/ha de carbono no povoamento com 5 anos de idade, 48,5 ton/ha de carbono no povoamento com 10 anos, 114,8 ton/ha de carbono no povoamento com 15 anos, e 133,4 ton/ha no povoamento com 20 anos de idade.

Finalmente, Balbinot *et al.* (2007) estudaram a dinâmica do estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em classes distintas de idade, nos municípios de General Carneiro e Bituruna, região centro sul do estado do Paraná, com uso do *software* SisPinus. Os autores estimaram a produção de carbono utilizando equações alométricas, os quais encontraram os seguintes resultados: 25,7 ton/ha de carbono em idades inferiores a 5 anos; 75,5 ton/ha em idades entre 5 e 15 anos e 102,7 ton/ha em idades superiores a 15 anos.

Carvalho (2017) encontrou valores de carbono para os compartimentos arbóreos de plantio de *Pinus* spp. aos 16 anos de idade no município de Bituruna. As acículas somaram 5,2 ton/ha, galhos 21,2 ton/ha e fuste 64,6 ton/ha. O valor total de carbono foi de 90,8 ton/ha.

FIGURA 12 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.



FONTE: A AUTORA (2021).

Nota-se que os valores encontrados em literatura são divergentes, reafirmando o fato de que o sítio influencia na estimativa. Os valores do presente estudo se assemelham aos valores encontrados por Balbinot *et al.* (2007) e Carvalho (2017), em ambos os casos as áreas estão localizadas na região centro sul do estado do Paraná.

4.3 ESTIMATIVA DE CO₂ eq

Os resultados para a última variável estimada, carbono equivalente, encontram-se na TABELA 6.

TABELA 6 - VALORES TOTAIS DE CO₂ eq EM TONELADA/HECTARE

	Acícula ton/ha	Galho ton/ha	Fuste ton/ha	Total ton/ha
Sem Desbaste				
05 anos	1,55	14,98	108,79	125,32
11 anos	18,34	85,10	329,79	433,23
13 anos	22,67	100,72	374,28	497,67
14 anos	26,07	106,73	368,98	501,78
15 anos	22,97	96,55	337,43	456,95
16 anos	29,72	116,60	395,95	542,27
17 anos	32,32	117,69	371,86	521,87
19 anos	33,20	117,04	345,74	495,98

1° Desbaste				
13 anos	13,70	61,63	219,50	294,83
14 anos	13,49	57,77	200,76	272,02
15 anos	14,96	62,29	209,15	286,40
16 anos	21,24	82,45	261,20	364,89
17 anos	21,29	80,69	253,65	355,63

FONTE: A AUTORA (2021).

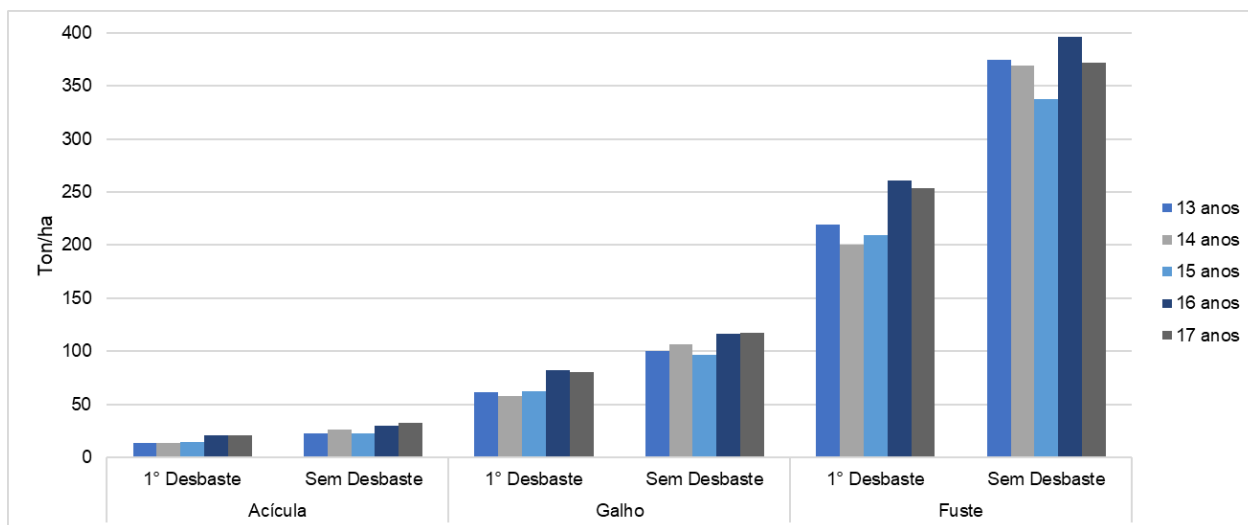
Assim como as duas variáveis anteriores, biomassa e estoque de carbono, o plantio sem desbaste apresentou maiores valores totais de carbono equivalente, sendo o plantio com 19 anos responsável pela maior taxa de absorção 495,98 toneladas por hectare e a idade de 5 anos obteve a menor taxa de absorção total com 125,32 toneladas por hectare. É possível fazer duas analogias: primeiramente, o carbono equivalente, aumenta em função da idade do plantio, segundo o fuste é o maior responsável por este fenômeno.

Comparando as idades que sofrem os dois sistemas de manejo, as áreas manejadas sem desbaste obtiveram em média 190 ton/ha total mais carbono equivalente, do que os plantios com 1° desbaste. Carvalho (2017) encontrou os seguintes valores de CO₂ eq para os diferentes componentes arbóreos em população de *Pinus* spp. aos 16 anos de idade: 19,2 ton/ha para acícula; 78,6 ton/ha para galhos; 237 ton/ha para fuste e 333 ton/ha de valor total

De acordo com o Carvalho (2017), os plantios florestais contribuem para a prevenção do aquecimento global, uma vez que funcionam como alternativa na mitigação do dióxido de carbono presente na atmosfera. Como mencionado, o sequestro de carbono e CO₂ eq ocorre durante o processo de fotossíntese, onde as árvores removem o elemento e o convertem em hidratos de carbono liberando, posteriormente, o oxigênio para a atmosfera. Deste modo, os valores de CO₂ eq presente na biomassa é variável em função da tipologia florestal.

Por fim, na FIGURA 13, observamos o total de CO₂ eq presente nos componentes arbóreos em função da idade e sistema de manejo.

FIGURA 13 - COMPARATIVO DE PRODUÇÃO DE CO₂ eq EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE MANEJO E COMPARTIMENTO ARBÓREO.



FONTE: A AUTORA (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Por meio do uso de metodologia indireta, foi possível estimar a produção de biomassa em função do sistema de manejo. Em sistemas sem desbaste, houve uma produção individual menor, porém maior por unidade de área. Para os sistemas de manejo com primeiro desbaste, a premissa é contrária. Justifica-se a constatação devido a densidade do plantio em campo;
- Para as idades que possuem os dois sistemas de manejo, a biomassa, o estoque de carbono e o carbono equivalente, total foram de, respectivamente, 120 ton/ha, 52 ton/ha e 190 ton/ha maior que a produção em sistema de manejo com primeiro desbaste;
- A idade do plantio também é um fator que interfere na produção de biomassa. Em plantios mais jovens, tem-se menor produção, comparado aos plantios com idades mais avançadas;
- Com os dados do presente estudo, as práticas do manejo florestal podem ser direcionadas ao atendimento de distintos objetivos para o plantio: maior produção e estoque individual ou por unidade de área.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O crédito de carbono é a representação de uma tonelada de carbono que deixou de ser emitida para a atmosfera, contribuindo para a diminuição do efeito estufa (SUSTAINABLE CARBON, 2015). De acordo com The World Bank (2021), existem atualmente 64 iniciativas de precificação do carbono em escala mundial. Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) corresponde a um crédito de carbono, o preço médio da tonelada de carbono é de US\$ 24,52 (THE WORLD BANK, 2021).

No Brasil, não existem iniciativas de precificação de carbono (THE WORLD BANK, 2021). Com o alto potencial do setor e o interesse internacional nas florestas nacionais, o governo Federal lançou o programa Floresta + Carbono em outubro de 2020, trazendo como modalidade de pagamento por serviços ambientais, a geração de créditos de carbono a partir da conservação e recuperação de vegetação nativa (BRASIL, 2020).

Como comprovado neste estudo, a produção de biomassa, o estoque de carbono e carbono equivalente é variável em função da idade e das condições do manejo. Os valores obtidos no presente estudo são estimados, representam o potencial do plantio/área, para que sejam validados em futuros projetos, como de crédito de carbono, faz-se necessário utilizar de métodos diretos para obter os valores reais. Vale ressaltar que um estudo completo de quantificação de biomassa pelo método direto geralmente envolve outros componentes que não foram objetivo deste trabalho, como quantificação de raízes e de serrapilheira.

Para um projeto de crédito de carbono, o sistema de manejo indicado a partir da análise dos dados deste trabalho é o sistema sem desbaste, de modo que o valor total por unidade de área é maior para as três variáveis estudadas. Além das quantificações verificadas neste trabalho, a empresa precisa realizar a quantificação de suas emissões, para assim fazer um balanço e averiguar qual é o real valor de CO₂ que pode ser negociado.

6 REFERÊNCIAS

ATANAZIO, K. A.; KREFTA, S. M.; VUADEN, E.; et al. **COMPARAÇÃO DE MODELOS PARA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA EM FLORESTA DE *Pinus taeda* L. NO MUNICÍPIO DE ENÉAS MARQUES, PARANÁ.**, p. 535–541, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n4p535-541>>.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. **INVENTÁRIO DO CARBONO ORGÂNICO EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* AOS 5 ANOS DE IDADE NO RIO GRANDE DO SUL.**, 2003.

BALBINOT, R.; VALÉRIO, Á. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. **ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *Pinus* spp. EM DIFERENTES IDADES NO SUL DO ESTADO DO PARANÁ.**, v. 38, n. 2, 2007.

BRASIL. **Floresta + Carbono incentiva conservação de vegetação nativa.** Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2020/10/floresta-carbono-incentiva-conservacao-de-vegetacao-nativa>>. Acesso em: 6/10/2021.

CARBON CREDIT CAPITAL. **Value of Carbon Market Update 2021.** Disponível em: <<https://carboncreditcapital.com/value-of-carbon-market-update-2021-2/>>. Acesso em: 01/10/2021.

CARVALHO, R. R. DE. **Biomassa, Carbono e Potencial Energético em um plantio misto de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliotti* Engelm,** 2017. Irati.

CARVALHO, R. R.; TRAUTENMÜLLER, J. W.; COSTA JUNIOR, S.; et al. **CARBONO DE UM PLANTIO MISTO DE *PINUS TAEDA* L. E *PINUS ELLIOTTII* ENGELM. Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza - Volume 1.** p.72–84, 2021. Editora Científica Digital.

DAVID, H. C.; ARCE, J. E.; NETTO, S. P.; et al. Efeito do desbaste e da qualidade do sítio na relação hipsométrica de pinus taeda. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 220–228, 2016. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

EMBRAPA. **Espécies de pínus mais plantadas no Brasil**. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_lifecycle=0&p_p_id=conteudoporlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_col_count=1&p_p_col_id=column-1&p_p_state=normal&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3229&p_p_mode=view>. Acesso em: 28/9/2021.

IAT. **Sistema de Informações Hidrológicas - Relatório de Totais Mensais de Precipitação**. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioTotaisMensaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>>. Acesso em: 25/11/2021.

IBA. **RELATÓRIO ANUAL**. 2020.

IBGE. **Pinhão**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pinhao/panorama>>. Acesso em: 11/10/2021.

ITCG. Cima - Classificação de Koppen. Disponível em: <<http://www.geo.pr.gov.br/ms4/itcg/geo.html>>. Acesso em: 15/10/2021.

LIMA, R. **CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE Pinus taeda L. EM FUNÇÃO DO ESPAÇO VITAL**, 2014.

MICROSOFT OFFICE EXCEL, 2019.

MORAIS, V. A. **MODELAGEM E ESPACIALIZAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO DE CERRADO SENSU STRICTO EM MINAS GERAIS**, 2012.

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, 2016. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

PREFEITURA DE PINHÃO. **Pinhão.** Disponível em: <<https://www.pinhao.pr.gov.br/pinhao/>>. Acesso em: 9/10/2021.

ROTAMAPAS. Distância entre Curitiba e Pinhão - PR. Disponível em: <<https://www.rotamapas.com.br/distancia-entre-curitiba-e-pinhao-pr>>. Acesso em: 4/10/2021.

R Core Team (2021) **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SANQUETTA, C. R. **As florestas e o carbono.** Curitiba, 2002.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de Eucalyptus spp nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso". In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B., (Ed.) **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** Curitiba, 2004.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. CAPTURA DE CARBONO ORGÂNICO EM POVOAMENTOS DE Pinus taeda L. NA REGIÃO DE RIO NEGRINHO, SC. **C. R.**, p. 33–44, 2005.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S. C.; BOTELHO, S. A.; et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 43, n. 108, p. 943–953, 2015. University of Sao Paolo.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. **O ESTADO DA ARTE NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FORMAÇÕES FLORESTAIS.**, v. 38, n. 1, 2007.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, R.; et al. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, 2006.

SUSTAINABLE CARBON. **O que é e como são gerados os créditos de carbono?**

Disponível em: <<https://www.sustainablecarbon.com/como-sao-gerados/>>. Acesso em: 20/10/2021.

THE WORLD BANK. **Carbon Pricing Dashboard**. Disponível em:

<<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>>. Acesso em: 1/10/2021.

TOMAZELLO FILHO, M.; LATORRACA, J. V. DE F.; FISCHER, F. M.; et al. Avaliação da Dispersão de Sementes de *Pinus taeda* L. pela Análise dos Anéis de Crescimento de Árvores de Regeneração Natural. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, 2016. FapUNIFESP (SciELO).

TOPOGRAPHIC-MAP. **Pinhão**. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/fm77/Pinh%C3%A3o/>>. Acesso em: 11/10/2021.

VALERIO, A. F. **QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA E CARBONO EM PLANTAÇÕES DE *Pinus elliottii* Eng. COM DIFERENTES IDADES**, 2009. Irati.

7 ANEXOS

1 – SCRIPT PARA O PROGRAMA R UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DOS DADOS.

```
{
## Biomassa acícula

ba0 <- 0.000029
ba1 <- 2.338523
ba2 <- -1.80661

dados$biomassa_acicula <- ba0 * (dados$d^ba1) * ((1/dados$hest) ^ ba2)

b_acicula_sd <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == 'Sem Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_acicula)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa acícula (kg) - Sem Desbaste')
b_acicula_1d <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == '1° Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_acicula)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa acícula (kg) - 1° Desbaste')
grid.arrange(b_acicula_sd, b_acicula_1d, ncol=2 )

## Biomassa do galho

bg0 <- 0.00254
bg1 <- 1.056016

dados$biomassa_galho <- bg0 * (dados$d^2 * dados$hest) ^ bg1

b_galho_sd <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == 'Sem Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_galho)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa galho (kg) - Sem Desbaste')
b_galho_1d <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == '1° Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_galho)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa galho (kg) - 1° Desbaste')
grid.arrange(b_galho_sd, b_galho_1d, ncol=2 )
```

```

## Biomassa do fuste
bf0 <- 0.234758
bf1 <- 0.713427

dados$biomassa_fuste <- bf0 * (dados$d^2 * dados$hest) ^ bf1

b_fuste_sd <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == 'Sem Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_fuste)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa fuste (kg) - Sem Desbaste')
b_fuste_1d <- ggplot(dados %>% filter(Manejo == '1° Desbaste'), aes(x=d,
y=biomassa_fuste)) +
  geom_point() +
  xlab('DAP (cm)')+
  ylab('kg / árvore')+
  ggtitle('Biomassa fuste (kg) - 1° Desbaste')
grid.arrange(b_fuste_sd, b_fuste_1d, ncol=2 )

#grafico geral

ggplot(dados1, aes (x=d, y=
BIOMASSA_TOTAL_ACICULA_GALHO_COPA_FUSTE)) +
  geom_point(alpha = 0.3, color = 'black') +
  facet_grid(Manejo ~ IDADE)+
  labs(x='DAP (cm)', y='Biomassa Total (kg / árvore)', title='Biomassa Total em
função da Idade e Manejo')

}

```