

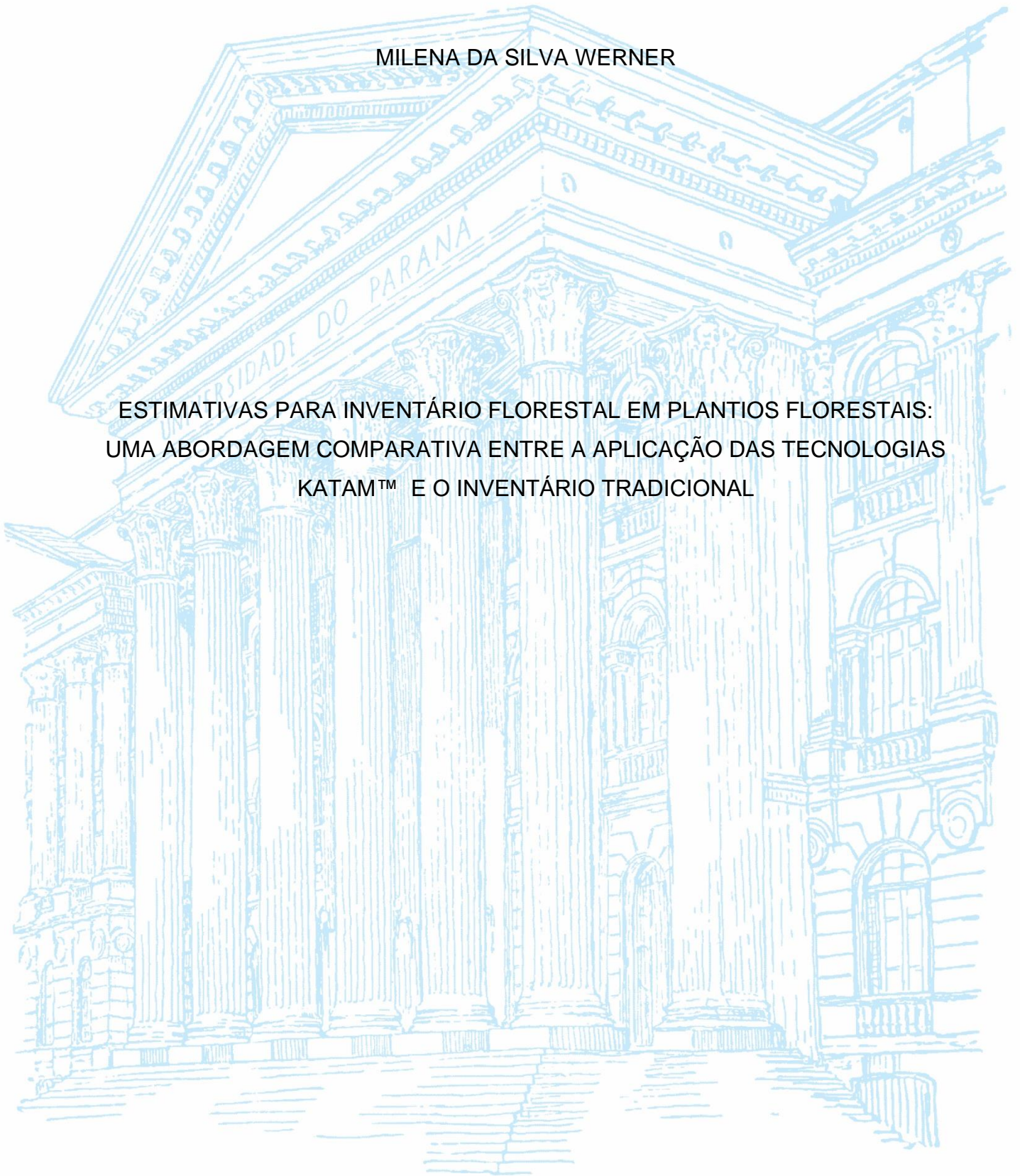
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MILENA DA SILVA WERNER

ESTIMATIVAS PARA INVENTÁRIO FLORESTAL EM PLANTIOS FLORESTAIS:  
UMA ABORDAGEM COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS  
KATAM™ E O INVENTÁRIO TRADICIONAL

CURITIBA

2022



MILENA DA SILVA WERNER

ESTIMATIVAS PARA INVENTÁRIO FLORESTAL EM PLANTIOS FLORESTAIS:  
UMA ABORDAGEM COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS  
KATAM™ E O INVENTÁRIO TRADICIONAL

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

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2022

## TERMO DE APROVAÇÃO

MILENA DA SILVA WERNER

### ESTIMATIVAS PARA INVENTÁRIO FLORESTAL EM PLANTIOS FLORESTAIS: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA ENTRE A APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS KATAM™ E O INVENTÁRIO TRADICIONAL

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

---

Prof(a). Dra. Lorena Stolle  
Departamento de Ciências Florestais, UFMT

---

Prof. Dr. Alexandre Behling  
Departamento de Ciências Florestais, UFPR

---

Prof(a). Dra. Ana Paula Dalla Corte  
Departamento de Ciências Florestais, UFPR

Curitiba, 04 de maio de 2022.



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me conduzir, lapidar e cuidar ao longo da caminhada, com demonstrações incríveis e diárias de sua graça e seu amor. A Ele toda honra e toda a glória, para sempre.

A meu marido Arthur, por sempre me apoiar, ouvir, encorajar e alegrar, mesmo quando tudo ao redor é caótico. Muito obrigada, meu amor, por ser o melhor companheiro que eu poderia ter nessa vida!

A meus amados pais Volmir e Joelma por todo esforço que sempre fizeram para propiciar a mim o melhor possível. Obrigada por me criarem com tanto amor e dedicação e por me ensinarem a ser grata e a dar meu melhor sempre. Eu não estaria aqui e não seria quem sou hoje se não fosse pelo amor e esforço de vocês!

À família que ganhei de presente: Egon, Silmara, Emily e Mateus. Obrigada por sempre estarem presentes em minha vida com tanto amor, encorajamento e alegria e por tudo que fazem por mim!

A meus avós Joel, Vani e Teresinha por todo o amor, carinho e exemplo que me deram. Ao restante de minha família, por todo amor e compartilhar da vida.

Aos amigos e irmãos que ganhei no Acampamento Moriah, que são parte essencial da minha vida, alegrando meus dias com todas as conversas envolvendo desde trivialidades até discussões teológicas.

Às amigas da graduação Anah Flávia de Castro, Camila Spolador e Letícia Olibratovski, por todo apoio, por dividirem tantos momentos comigo desde o 1º período e pela amizade valiosa e incomparável construída.

Aos professores Alexandre Behling, Ana Paula Dalla Corte, Décio José Figueiredo e Júlio Eduardo Arce, por todos os ensinamentos, tanto voltados à formação acadêmica quanto à vida, e por todas as oportunidades.

À equipe da KATAM: Anton Holmström, Gustavo Fedrizzi, Luiza Federici e Magnus Karlson, com a qual eu tive o prazer de trabalhar.

Aos engenheiros florestais Antônio Fragoso e Mauro Karasinski pelo apoio e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens, sabendo que receberão do Senhor a recompensa da herança. É a Cristo, o Senhor, que vocês estão servindo.  
(Colossenses 3:23-24, Nova Versão Internacional)

## RESUMO

As florestas plantadas são a base da cadeia produtiva do setor florestal no Brasil. A fim de geri-las apropriadamente, o inventário florestal é essencial como subsídio para tomadas de decisão. Porém, mesmo que usualmente realizado com técnicas de amostragem, ainda se trata de uma operação onerosa aplicando-se os procedimentos tradicionais. As principais oportunidades de melhoria identificadas por empresas de base florestal são a redução dos custos e de mão de obra e o aumento na agilidade da mensuração das florestas mantendo-se ou aumentando a precisão nas estimativas geradas. Em função disto, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto ganha cada vez mais espaço na atividade, mas ainda com pouca aderência das empresas pelo elevado custo das tecnologias. Buscando facilitar a inserção da digitalização no inventário florestal, a startup sueca KATAM Technologies desenvolveu duas soluções para aquisição e análise de dados florestais: KATAM™ Forest e KATAM™ TreeMap, que se mostram promissoras, mas seu desempenho ainda não foi testado suficientemente em condições das florestas plantadas Brasileiras. Portanto, este trabalho teve como objetivo comparar, em termos de acurácia e rendimento operacional, a aplicação das soluções KATAM na atividade de inventário florestal de duas áreas, contemplando as espécies *Pinus taeda* L. (18 anos) e *Eucalyptus dunnii* Maiden (9 anos), com um inventário florestal realizado de forma tradicional com aplicação de técnicas de amostragem. O estudo foi realizado no município de Mafra-SC. Os resultados obtidos pelas duas abordagens de inventário florestal, para cada espécie, foram comparados através do teste  $T^2$  de Hotteling para amostras independentes e variâncias diferentes para as variáveis dap, altura total,  $G.ha^{-1}$ ,  $V.ha^{-1}$  e  $arv.ha^{-1}$ . Para comparar as distribuições obtidas para dap e altura total aplicou-se o teste de  $\chi^2$ . O rendimento operacional foi avaliado através dos dados de tempo obtidos durante o processo de inventário em ambas as abordagens. As médias obtidas para cada abordagem para as variáveis em ambas as espécies foram estatisticamente diferentes à 5% de significância. Porém, como os valores paramétricos das populações são desconhecidos, não foi possível afirmar qual das abordagens melhor estimou as variáveis. O sub-bosque presente no talhão de *P. taeda* pode ser um fator limitante e gerar um erro sistemático que subestima a variável dap. A densidade em árvores por hectare foi subestimada para *E. dunnii* com a abordagem KATAM. O rendimento operacional de um inventário florestal com KATAM é cerca de 7 vezes maior para *E. dunnii* e de 6 vezes maior para *P. taeda* quando comparado à abordagem tradicional nas configurações empregadas. Envolvendo uma equipe menor e menos tempo de trabalho, as tecnologias KATAM têm potencial para reduzir os custos e aumentar a agilidade nas operações de inventário florestal, sendo promissoras no cenário das florestas plantadas brasileiras. Por fim, recomenda-se a elaboração de maiores estudos sobre o assunto, onde seja possível comparar os resultados obtidos com KATAM com os valores paramétricos da população, para maiores conclusões acerca da acurácia.

Palavras-chave: Inventário Florestal. Sensoriamento remoto. Digitalização. Tecnologias KATAM. Rendimento Operacional.

## ABSTRACT

Planted forests are the basis of the productive chain in Brazilian forestry sector. To manage them properly, forest inventory is an essential activity as a subsidy for decision making. However, even though usually performed with sampling techniques, it is still a costly operation when traditional procedures are applied. The main opportunities for improvement in forest inventories identified by forest-based companies are the reduction of costs and labor and the increase in the forest measurements agility, maintaining or increasing the precision in generated estimates. As a result, the use of remote sensing techniques is gaining more and more space in this activity, but still with little adherence by companies due to the usual high cost of technologies. Aiming to facilitate the digitalization in forest inventory, the Swedish startup KATAM Technologies has developed two solutions for the acquisition and analysis of forest data: KATAM™ Forest and KATAM™ TreeMap, which shows promise, but have not yet been sufficiently tested under conditions of Brazilian planted forests. Therefore, this study aimed to compare the application of KATAM solutions with a forest inventory carried out in a traditional way with sampling techniques, in terms of accuracy and operational performance and productivity, considering the species *Pinus taeda* L. (18 years old) e *Eucalyptus dunnii* Maiden (9 years old). The study was made in the municipality of Mafra, in Santa Catarina State. The results obtained by the two forest inventory approaches, for each species, were compared by Hotteling's  $T^2$  test for independent samples and different variances for the variables dbh, total height,  $G.ha^{-1}$ ,  $V.ha^{-1}$  and  $trees.ha^{-1}$ . To compare the distributions obtained for dap and total height, the  $\chi^2$  test was applied. Operational performance and productivity were evaluated through time data obtained during the inventory process in both approaches. The means obtained for each approach for the variables in both species were statistically different at 5% of significance. However, as the parametric values of the populations are unknown, it was not possible to state which of the approaches best estimated the variables. The under-vegetation present in *P. taeda* stand can be a limiting factor and generate a systematic error that underestimates the dbh variable. The number of trees per hectare was underestimated for *E. dunnii* with the KATAM approach. The operational productivity of a forest inventory with KATAM is about 7 times higher for *E. dunnii* and 6 times higher for *P. taeda* when compared to the traditional approach in the tested scenarios. Involving a smaller team and less working time, KATAM technologies have the potential to reduce costs and increase agility in forest inventory operations, showing promise in the scenario of Brazilian planted forests. Finally, it is recommended to carry out more studies on the subject, where it is possible to compare the results obtained with KATAM with the parametric values of the population, for greater conclusions about the accuracy.

Keywords: Forest Inventory. Remote sensing. Digitalization. KATAM Technologies. Operational Productivity.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DETECÇÃO DE ÁRVORES NO APLICATIVO KATAM™ FOREST.....	24
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FLORESTAIS ABORDADAS NO ESTUDO.....	26
FIGURA 3 - TALHÕES FLORESTAIS DA PROPRIEDADE VILA GREIN.....	27
FIGURA 4 - TALHÕES FLORESTAIS DA PROPRIEDADE LEONEL.....	27
FIGURA 5 – CONDIÇÕES DE SUB-BOSQUE NO TALHÃO DE <i>P. taeda</i> .....	28
FIGURA 6 – CONDIÇÕES DE SUB-BOSQUE NO TALHÃO DE <i>E. dunnii</i> NA VILA GREIN.....	29
FIGURA 7 – SUB-BOSQUE OBSTRUÍDO POR TAQUARAL NO TALHÃO DE <i>E.</i> <i>dunnii</i> NA PROPRIEDADE LEONEL .....	30
FIGURA 8 – VANT DJI PHANTOM 4 ADVANCED EM OPERAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS AÉREAS .....	31
FIGURA 9 – MENSURAÇÃO DO DAP UTILIZANDO FITA MÉTRICA .....	32
FIGURA 10 – MENSURAÇÃO DE ALTURA INDIVIDUAL UTILIZANDO CLINÔMETRO E TRENA.....	33
FIGURA 11 – INTERFACE DO APLICATIVO KATAM™ FOREST APÓS O PROCESSAMENTO DE TODOS OS VÍDEOS GRAVADOS NO TALHÃO DE <i>P. taeda</i> .....	35
FIGURA 12 – PORTAL TreeMap PARA UPLOAD DE IMAGENS AÉREAS E RECEBIMENTO DOS RESULTADOS.....	36
FIGURA 13 – CAPTURA DE TELA DO APLICATIVO KATAM™ FOREST MOSTRANDO A ALTURA ONDE O DAP FOI MENSURADO NAS ÁRVORES A PARTIR DA IDENTIFICAÇÃO DO CHÃO DA FLORESTA .....	39
FIGURA 14 – CAPTURA DE TELA DO APLICATIVO KATAM™ FOREST PARA O TALHÃO DE <i>E. dunnii</i> DEMONSTRANDO A DETECÇÃO DAS ÁRVORES.....	46
FIGURA 15 – ENQUADRAMENTO RECOMENDADO PARA GRAVAÇÃO DE VÍDEO COM KATAM™ Forest.....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA <i>P. taeda</i> .....	41
GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÕES HIPSOMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA <i>P. taeda</i> .....	42
GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA <i>E. dunnii</i> .....	45
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÕES HIPSOMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA <i>E. dunnii</i> .....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VETORES DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO TESTE T <sup>2</sup> DE HOTTELING PARA <i>P. taeda</i> .....	38
TABELA 2 – VETORES DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO TESTE T <sup>2</sup> DE HOTTELING PARA <i>E. dunnii</i> .....	43
TABELA 3 – TEMPOS PARCIAIS E TOTAL GASTOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL COM TECNOLOGIA KATAM, EM HORAS .....	48
TABELA 4 – TEMPOS PARCIAIS E TOTAL GASTOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL, EM HORAS .....	48
TABELA 5 – INTENSIDADE AMOSTRAL OBTIDA COM CADA ABORDAGEM .....	49
TABELA 6 – TEMPO TOTAL (HORAS) GASTO EM CADA MÉTODO PARA AMOSTRAR 1 HECTARE DE FLORESTA CONFORME AS RESPECTIVAS INTENSIDADES AMOSTRAIS.....	49
TABELA 7 – TEMPO TOTAL GASTO COM CADA ABORDAGEM EM HORAS.HOMEM <sup>-1</sup> .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

LiDAR	- <i>Light Detection and Ranging</i>
IBÁ	- Indústria Brasileira de Árvores
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado
IA	- Inteligência Artificial
RA	- Realidade Aumentada
dap	- Diâmetro à altura do peito
RPA	- Aeronaves Remotamente Pilotadas
SLAM	- <i>Simultaneous Localization And Mapping</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1 INVENTÁRIOS FLORESTAIS.....	18
2.1.1 Definição, classificações e características gerais.....	18
2.1.2 Métodos e processos de amostragem.....	19
2.1.3 Equipamentos utilizados para coleta de dados .....	21
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A INVENTÁRIOS FLORESTAIS .....	21
2.3 APLICAÇÃO DE VANTS EM INVENTÁRIO FLORESTAL .....	23
2.4 APLICATIVO KATAM™ FOREST .....	24
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 COLETA DE DADOS – INVENTÁRIO COM KATAM.....	29
3.2.1 Coleta de dados com KATAM™ Forest.....	29
3.2.2 Coleta de dados para o KATAM™ TreeMap .....	31
3.3 COLETA DE DADOS – INVENTÁRIO TRADICIONAL .....	32
3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO TRADICIONAL.....	33
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO FLORESTAL COM A FERRAMENTA DA KATAM .....	34
3.6 COMPARAÇÃO EM TERMOS DE RENDIMENTO OPERACIONAL .....	36
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA COMPARAÇÃO DAS ABORDAGENS .....	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
4.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL NAS ABORDAGENS TRADICIONAL E KATAM .....	38
4.1.1 Comparações das abordagens de inventário florestal em <i>P. taeda</i> .....	38
4.1.2 Comparações das abordagens de inventário florestal em <i>E. dunnii</i> .....	43
4.2 RENDIMENTO OPERACIONAL .....	48
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>51</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	51

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE 1 – RECOMENDAÇÕES DA KATAM QUANTO AOS PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO 1 – RELATÓRIO KATAM PARA O TALHÃO DE <i>P. TAEDA</i> - LEONEL....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 2 – RELATÓRIO KATAM PARA O TALHÃO DE <i>E. DUNNII</i> - VILA GREIN</b>	
<b>61</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de base florestal é essencial para a condução da sociedade rumo a uma economia cada vez mais sustentável e isto, invariavelmente, engloba as florestas plantadas, que são a base da cadeia produtiva do setor, abastecendo diversos segmentos industriais que têm a madeira como matéria-prima. Hoje o Brasil é uma das maiores potências florestais mundiais, com 9,55 milhões de hectares de florestas plantadas, distribuídos em 78% de florestas de *Eucalyptus spp.*, 18% de *Pinus spp.* e o remanescente dividido entre outras espécies (IBÁ, 2021).

Com o intuito de gerir apropriadamente estes recursos, o inventário florestal tem papel fundamental como subsídio ao fornecer informações qualitativas e quantitativas sobre as florestas, dando condições adequadas para tomadas de decisão (LATIFI; HEURICH, 2019). Em sua maioria, os inventários florestais são realizados a partir de processos de amostragem, para fazer inferências sobre a população com menor tempo de coleta de dados e, conseqüentemente, menor custo (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997; GOODBODY *et al.*, 2017; CORTE *et al.*, 2020a). Contudo, mesmo se tratando de uma atividade baseada em parte da população, o inventário florestal em seus métodos tradicionais ainda é uma operação onerosa, por envolver grande quantidade de mão de obra em campo e elevado tempo de execução (KANGAS, 2006; WHITE *et al.*, 2016; CORTE *et al.*, 2020b).

As principais oportunidades de melhoria identificadas por empresas de base florestal relacionadas às atividades de inventário florestal são justamente a redução dos custos envolvidos e uma maior agilidade na mensuração das florestas, envolvendo menos mão de obra (GASPAROTO, 2017; CORTE *et al.*, 2020b). Alinhado a isto, os métodos de sensoriamento remoto são cada vez mais vistos como soluções e ferramentas auxiliares para obtenção de informações confiáveis e de qualidade em menor tempo (KANGAS, 2006; KANGAS *et al.*, 2018; CORTE *et al.*, 2022).

Entretanto, mesmo que haja uma gama de possibilidades de aplicações de novas tecnologias de sensoriamento remoto para otimizar as atividades de mensuração florestal, ainda há pouca aderência das empresas neste quesito, principalmente em função do elevado custo das tecnologias (GASPAROTO, 2017). De fato, algumas das possibilidades de inovação existentes hoje são de difícil aplicação em larga escala, em função do custo e dos hardwares envolvidos, como é

o caso da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e outras envolvendo o escaneamento à laser, o que dificulta sua inserção nas empresas florestais, que usualmente detêm amplas áreas de plantio (LIM *et al.*, 2003; WHITE *et al.*, 2016).

Neste contexto, com a intenção de interligar a indústria florestal com os movimentos de digitalização e inovação, a *startup* sueca KATAM Technologies desenvolveu duas soluções para aquisição e análise de dados florestais, baseando-se principalmente nas tecnologias de inteligência artificial (IA), realidade aumentada (RA) e visão computacional. A primeira delas é o aplicativo para smartphone KATAM™ Forest que, a partir de vídeos convencionais, utiliza uma tecnologia chamada SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) para criar uma nuvem de pontos 3D e redes neurais convolucionais para detectar as árvores nos vídeos, medindo o dap e estimando outras variáveis dendrométricas (TÄLL, 2020). A segunda é a solução KATAM™ TreeMap que, com base em imagens aéreas obtidas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou imagens de satélite, obtém a altura individual de todas as árvores do talhão, bem como o número árvores por hectare. Hoje há duas abordagens possíveis na aplicação das soluções KATAM, sendo possível o uso aplicado de maneira independente ou em conjunto.

As tecnologias foram inicialmente desenvolvidas para serem aplicadas em florestas nórdicas de *Picea spp.* e *Pinus spp.*, que são nativas e manejadas para produção madeireira (TÄLL, 2020). Como as condições destas florestas são amplamente diferentes das florestas plantadas brasileiras e a própria aplicação das soluções KATAM no Brasil é ainda recente, embora com potencial, há necessidade de maiores estudos acerca de seu uso no país, em termos de acurácia e rendimento operacional, visto que são ainda inexistentes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Dada a inexistência de estudos acerca das tecnologias KATAM™ Forest e KATAM™ TreeMap no Brasil, verifica-se a relevância do presente trabalho como pioneiro na análise de suas possíveis aplicações em florestas plantadas brasileiras, avaliando acurácia e rendimento operacional em comparação à abordagem tradicional de inventário florestal aplicando técnicas de amostragem com área fixa.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo comparar, em termos de acurácia e rendimento operacional, a aplicação das soluções KATAM na atividade de inventário florestal de duas áreas, contemplando as espécies *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden, com um inventário florestal realizado de forma tradicional com aplicação de técnicas de amostragem.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos contemplados por este trabalho são:

- Comparar os tempos e movimentos de um inventário florestal realizado de forma tradicional com o inventário utilizando KATAM;
- Avaliar os resultados obtidos com as duas abordagens metodológicas, observando se há diferença estatística nas variáveis: dap, altura total, área basal ( $G \cdot ha^{-1}$ ), densidade ( $arv \cdot ha^{-1}$ ) e volume ( $V \cdot ha^{-1}$ );
- Identificar possíveis limitações do inventário florestal com as soluções KATAM e recomendar em quais ambientes e condições observou-se melhor desempenho em seu uso;
- Apresentar as oportunidades e os desafios identificados com relação ao uso das tecnologias da KATAM nas florestas plantadas no Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 INVENTÁRIOS FLORESTAIS

#### 2.1.1 Definição, classificações e características gerais

O **inventário florestal** é definido por Péllico Netto e Brena (1997) como “uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada”. Contudo, o inventário florestal é mais do que qualquer tipo de levantamento florestal, pois tem como importante característica **sua representatividade amostral e validade estatística**, que são conceitos-chave nesta atividade (SANQUETTA *et al.*, 2014). As aplicações de um inventário florestal dependem de seu objetivo e das informações que serão coletadas, mas de forma geral, consistem na fonte onde o manejador florestal é capaz de encontrar as informações necessárias para tomar decisões e planejar as atividades florestais presentes e futuras (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Ainda segundo Péllico Netto e Brena (1997), os inventários florestais podem ser classificados em **função dos objetivos, da abrangência, da forma de obtenção dos dados, da abordagem da população no tempo e do grau de detalhamento dos resultados**. Esta classificação ocorre da seguinte forma (SANQUETTA *et al.*, 2014):

- Quanto aos objetivos: os inventários podem ser de cunho tático, quando se busca atender demandas técnicas pontuais, e de cunho estratégico, para planejamentos de longo prazo e instalação de novos empreendimentos, seja no âmbito público ou privado;
- Quanto à abrangência: tem-se inventários de caráter nacional, regional e de áreas restritas;
- Quanto à maneira de obtenção dos dados, os inventários podem ser realizados com a **mensuração de todos os indivíduos da população**, o que constitui um **censo**, ou a partir de técnicas de amostragem para estimar os parâmetros da população, que é o que ocorre com maior frequência, ou ainda com a consulta às tabelas de produção;
- Quanto à abordagem da população no tempo, os inventários podem ser de uma ocasião ou contínuos;

- Por último, quanto ao grau de detalhamento dos resultados, classifica-se os inventários em exploratórios, de reconhecimento e detalhados.

Entre estas classificações, os tipos principais de inventário florestal hoje considerados são: inventário pré-corte (IPC), que é realizado previamente à colheita florestal usualmente com intensidade amostral elevada; inventário florestal contínuo (IFC), onde se busca conhecer as mudanças na floresta e o acompanhamento do crescimento e da produção florestais; inventário convencional, que é performado para determinar estoques madeireiros; inventário de sobrevivência, feito após o plantio para identificar índices de mortalidade, sobrevivência das mudas e falhas no plantio; entre outros (SCOLFORO; MELLO, 2006; SOARES *et al.*, 2011).

### 2.1.2 Métodos e processos de amostragem

Conforme previamente mencionado, os inventários florestais são com maior frequência realizados com base em métodos e processos de amostragem, que consiste na observação de parte de uma população a partir da qual se pode inferir sobre o todo com determinado grau de incerteza (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2014; GOODBODY *et al.*, 2017). Fazer inventários florestais baseando-se em amostragem permite a redução de custos envolvidos na obtenção das informações, dada a maior velocidade da atividade com a capacidade de fornecer informações com confiabilidade suficiente, ao invés da abordagem censitária na população, que na maior parte das vezes torna-se impraticável (KÖHL *et al.*, 2006; KANGAS; MALTAMO, 2006).

Os métodos de amostragem tratam da configuração da unidade amostral a ser utilizadas, sendo, segundo Péllico Netto e Brena (1997), a abordagem da população referente a uma única unidade amostral, e se divide em duas formas básicas: métodos de área fixa e métodos de área variável (SANQUETTA *et al.*, 2014).

O método de área fixa é o mais utilizado e conhecido dentro do setor florestal, visto a simplicidade de sua utilização (PÉLLICO NETTO E BRENA, 1997). As formas de unidades amostrais mais empregadas no método de área fixa são: circulares, quadradas, retangulares ou composições destas em conglomerados (SANQUETTA *et al.*, 2014). Hoje, no Brasil, conforme o panorama sobre inventário de florestas plantadas no Brasil realizado por Gasparoto (2017), a maior parte das empresas de

base florestal adere preferencialmente aos formatos circular e retangular de parcelas, em tamanhos variando entre 400 m<sup>2</sup> e 600 m<sup>2</sup>.

Já os processos de amostragem dizem respeito à forma com que as amostras são distribuídas sobre uma população florestal buscando gerar as estimativas pretendidas, onde os processos mais comuns praticados hoje no Brasil são: amostragem aleatória simples e amostragem sistemática (SANQUETTA *et al.*, 2014; GASPAROTO, 2017). Outros processos de amostragem importantes e considerados entre os principais são a amostragem estratificada e por conglomerados (BONHAM, 2013; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). A amostragem aleatória é o processo do qual derivam os demais, e baseia-se na divisão da área em unidades de amostragem sorteadas de forma independente e aleatória (BONHAM, 2013; SANQUETTA *et al.*, 2014). A amostragem sistemática, por sua vez, parte do sorteio de uma única amostra seguida pela seleção das restantes de maneira sistemática, seguindo um padrão de distribuição, que promove a redução do tempo de deslocamento em função da organização constante (SOARES; NETO; SOUZA, 2011). Na amostragem estratificada, é realizada a divisão da população em áreas com características homogêneas e em seguida o sorteio das amostras em cada estrato, normalmente de forma proporcional à área de cada um, de forma a reduzir a variabilidade da variável de interesse (KERSHAW JR. *et al.*, 2017; SANQUETTA *et al.*, 2014; SCOLFORO; MELLO, 2006). Na amostragem por conglomerados, são medidas algumas pequenas unidades amostrais que formam uma unidade maior e sua principal aplicação é em inventários de florestas nativas visando a redução de tempo de deslocamento (KERSHAW JR. *et al.*, 2017; SANQUETTA *et al.*, 2014).

Para se ter uma amostragem representativa na estimativa dos parâmetros da população, é preciso atentar-se para, além dos métodos e processos de amostragem a serem empregados, a intensidade amostral, que é dada pela relação entre a área amostrada e área total da população (HIGUCHI; SANTOS; JARDIM, 1982; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2014). Tratando da relação entre intensidade amostral e tamanho de parcela, usualmente quanto maior a área da unidade amostral, menor o número de unidades amostrais necessário, o que promove menor tempo empregado em deslocamento (HIGUCHI; SANTOS; JARDIM, 1982). Já quanto menor o tamanho da parcela, maior o número de unidades amostrais necessário em geral, o que pode representar melhor a variância da população (PRODAN, 1968). Souza *et al.* (2017) propõe que para plantios florestais homogêneos

em termos volumétricos seja medida uma parcela para cada 4 hectares. Gasparoto (2017) aponta que para IPC a intensidade amostral normalmente empregada pelas empresas florestais é de uma parcela para cada 3,8 hectares, enquanto para IFC é medida uma parcela para cada 8,2 hectares.

### 2.1.3 Equipamentos utilizados para coleta de dados

Gasparoto (2017) levantou em sua pesquisa os equipamentos normalmente utilizados para mensurar as principais variáveis dendrométricas em um inventário, que são dap e altura. A fita métrica é ainda o principal instrumento para medição do dap, em função de sua praticidade e baixo custo, sendo empregada em 64% das empresas que participaram do estudo, seguida pela suta mecânica com 24% (GASPAROTO, 2017).

Para a obtenção da altura, **hipsômetros/clinômetros eletrônicos são a ferramenta mais popular**, presentes em 38% das empresas. Além destes, os hipsômetros com ultrassom, mais sofisticados, já estão presentes em 33% das empresas avaliadas (GASPAROTO, 2017).

A maior parte das empresas utiliza coletores eletrônicos ou smartphones e tablets para registro dos dados, representando 71% no estudo. Na sequência, com 26%, está a utilização de fichas de campo e pranchetas para anotação dos dados, com participação ainda grande (GASPAROTO, 2017).

## 2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A INVENTÁRIOS FLORESTAIS

Como as demandas por inventários florestais se mantêm, com requisitos de acurácia e eficiência cada vez mais desafiadores, em um contexto de redução de recursos financeiros disponíveis gerando uma busca cada vez maior pela otimização e minimização de custos, as tecnologias de sensoriamento remoto se apresentam como uma alternativa cuja importância e papel nas operações têm aumentado nos últimos anos (BROSOFOSKE *et al.*, 2014; KANGAS *et al.*, 2018; WHITE *et al.*, 2016). A aplicação do sensoriamento remoto em inventários florestais teve início com o incipiente desenvolvimento e uso das fotografias aéreas e vem rapidamente avançando com o desenvolvimento de sensores ativos, lançamento de novos satélites e advento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) de forma cada vez mais

acessível (LATIFI E HEURICH, 2019; CORTE *et al.*, 2020a; CORTE *et al.*, 2020b). O advento dos métodos envolvendo sensoriamento remoto nas atividades de inventário florestal também se dá em função de esta ser uma operação complexa, onerosa e trabalhosa em suas configurações tradicionais, onde as tecnologias de sensoriamento remoto fornecem informações auxiliares que podem ser utilizadas para aumentar a acurácia e a eficiência na estimativa de parâmetros florestais (KANGAS *et al.*, 2018; CORTE *et al.*, 2022).

Hoje, as principais e mais promissoras tecnologias de sensoriamento remoto para inventários florestais assistidos por sensoriamento, de acordo com White *et al.* (2016), são: *Airborne Laser Scanning* (ALS), *Terrestrial Laser Scanning* (TLS), fotogrametria aérea digital e *high spatial resolution* (HSR) e *very high spatial resolution* (VHSR) imagens ópticas de satélite (WHITE *et al.*, 2016).

Abordando mais especificamente a fotogrametria aérea, tecnologia de sensoriamento remoto mais relacionada ao presente trabalho, sua definição consiste na obtenção de acurada informação a partir de imagens, e ela deriva de dois ramos principais: a fotogrametria métrica e a interpretativa, também conhecida como fotointerpretação (GRANSHAW, 2016; WOLF, DEWITT E WILKINSON, 2014). Sua aplicação pode se dar em estimativas da estrutura de povoamentos florestais, como mensurações de altura, diâmetro de copa e densidade, e no fornecimento de informações sobre ataques de pragas ou ocorrência de falhas na floresta (WEST, 2015). Com relação à obtenção de alturas através de fotogrametria, sua exatidão depende de fatores relacionados à qualidade das imagens aéreas e a aspectos da área em questão e dos próprios elementos alvo, como o formato da copa, a topografia do terreno e a acurácia do MDT (Modelo Digital do Terreno) utilizado (DURRIEU *et al.*, 2015). Observa-se em geral que as alturas são normalmente subestimadas quando obtidas por fotogrametria em função da suavização do topo das árvores (DURRIEU *et al.*, 2015). No tocante à detecção de árvores, as principais dificuldades encontradas são relacionadas à presença de árvores suprimidas que não são visíveis na superfície (DURRIEU *et al.*, 2015). De acordo com Stolle *et al.* (2021), o uso de VANTs ou de sensores aéreos é uma alternativa para a contagem do número de árvores em um povoamento, onde a detecção pode variar de 70% a 114%, com a influência de alguns fatores para esta variação, como: tipo e características do sensor empregado, algoritmo utilizado para detecção, idade do povoamento, espécie, espaçamento e condições de manejo. Segundo os autores, este é um método

interessante para obtenção de dados sobre o número de árvores por ser relativamente barato e por se tratar de um processo automatizado que pode envolver vários tipos de sensores.

### 2.3 APLICAÇÃO DE VANTS EM INVENTÁRIO FLORESTAL

Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) são veículos que não apresentam pessoas embarcadas, podendo então ser pilotados remotamente ou autonomamente e sua denominação deriva do termo original em inglês *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) (DECEA, 2016). Em algumas circunstâncias os VANTS podem também ser chamados de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), contudo esta terminologia exclui as aeronaves autônomas, sendo restringida às remotamente pilotadas (FAHLSTROM; GLEASON, 2012). Cabe ressaltar que o termo RPA é o adotado pela legislação brasileira. Usualmente a denominação *drone* é empregada de forma coloquial para tipos de VANTS chamados veículos aéreos multirotores, em função do ruído característico emitido durante o voo.

Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo no uso de VANTS para aplicações em inventários florestais por conta de seu custo relativamente baixo, possibilidade de automação de processos e por sua capacidade de suportar vários tipos de sensores, como câmeras RGB ou multiespectrais, LiDAR e radar (MORALES *et al.*, 2018). Com relação às possibilidades de aplicações de VANTS na estimativa de parâmetros florestais, trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos abrangendo estimativas de alturas, volumes, biomassa e carbono considerando com detalhamento à nível de área (DANDOIS, OLANO E ELLIS, 2015; JENSEN E MATHEWS, 2016; MESSINGER, ASNER E SILMAN, 2016; PULITI *et al.*, 2015; JONES *et al.*, 2020), detecção de árvore individual, obtenção de altura, diâmetro de copa, medições de crescimento e estimativas de carbono e biomassa à nível de árvore individual (BIRDAL, AVDAN E TURK, 2017; BONNET, LIDEIN E LEJEUNE, 2017; GOODBODY *et al.*, 2017; RUZA *et al.*, 2017; STOLLE *et al.*, 2021). Estas estimativas podem ser realizadas a partir de dados coletados por sensores ativos, como, por exemplo, os sensores do tipo LiDAR ou os sensores passivos, que são os mais aplicados na área florestal, especialmente com imagens RGB, como avaliado por Hentz (2018), que verificou a possibilidade de construir equações estimativas de dap, altura e volume a partir dos dados obtidos por sensores passivos.

## 2.4 APLICATIVO KATAM™ FOREST

KATAM™ Forest é um aplicativo para smartphone desenvolvido pela startup sueca Katam Technologies AB. para mensuração florestal. A abordagem para fazer um inventário florestal utilizando esta ferramenta baseia-se na gravação de vídeos com um smartphone em povoamentos florestais. Detalhes sobre como a gravação dos vídeos deve ser feita podem ser encontrados no APÊNDICE 1, que descreve as recomendações da empresa para a coleta de dados.

Após a obtenção dos vídeos, KATAM™ Forest realiza o processamento deles e estima as variáveis dendrométricas dap, altura total, área basal, densidade em árvores por hectare e volume. De acordo com Täll (2020), o software utiliza uma tecnologia chamada SLAM (*Simultaneous localization and mapping*) para criar uma nuvem de pontos 3D e redes neurais convolucionais para detectar as árvores nos vídeos (FIGURA 1).

FIGURA 1 – DETECÇÃO DE ÁRVORES NO APLICATIVO KATAM™ FOREST



FONTE: O autor (2022).

No estudo realizado por Täll (2020), abordando florestas nórdicas no teste do aplicativo em comparação com um inventário florestal manual utilizando uma suta, os resultados foram em sua maioria positivos, mostrando a acurácia e o potencial da ferramenta. Foi observado que na maior parte das vezes o aplicativo não deixa de detectar árvores nos vídeos, mas que isso pode acontecer no caso de árvores bifurcadas, tortas ou então mais finas, com 8-10 cm de dap.



Tratando das variações em nível de árvore individual, a pesquisa apontou que o erro médio observado nos talhões de produção de *Picea spp.* foi de 2,9 cm. Comparando o dap mensurado com suta e o dap obtido com KATAM™ Forest, foi identificado que há uma tendência do aplicativo de subestimar o dap para árvores mais finas (10-20 cm) e muito grossas (>80 cm). Entretanto, não houve diferença significativa nas estimativas obtidas pelas diferentes abordagens de inventário florestal testadas no estudo nos talhões voltados à produção florestal através do manejo (TÄLL, 2020).

Segundo Täll (2020), há dificuldades em utilizar o aplicativo KATAM™ Forest em povoamentos florestais com estrutura densa, principalmente pela maior presença de árvores mais finas que são mais prováveis de não serem detectadas pelo algoritmo. Com relação à ocorrência de subestimativa em árvores mais grossas, o autor indica que o aplicativo necessita de maior desenvolvimento e calibração para se adequar a condições em que há presença de árvores com grande dap.

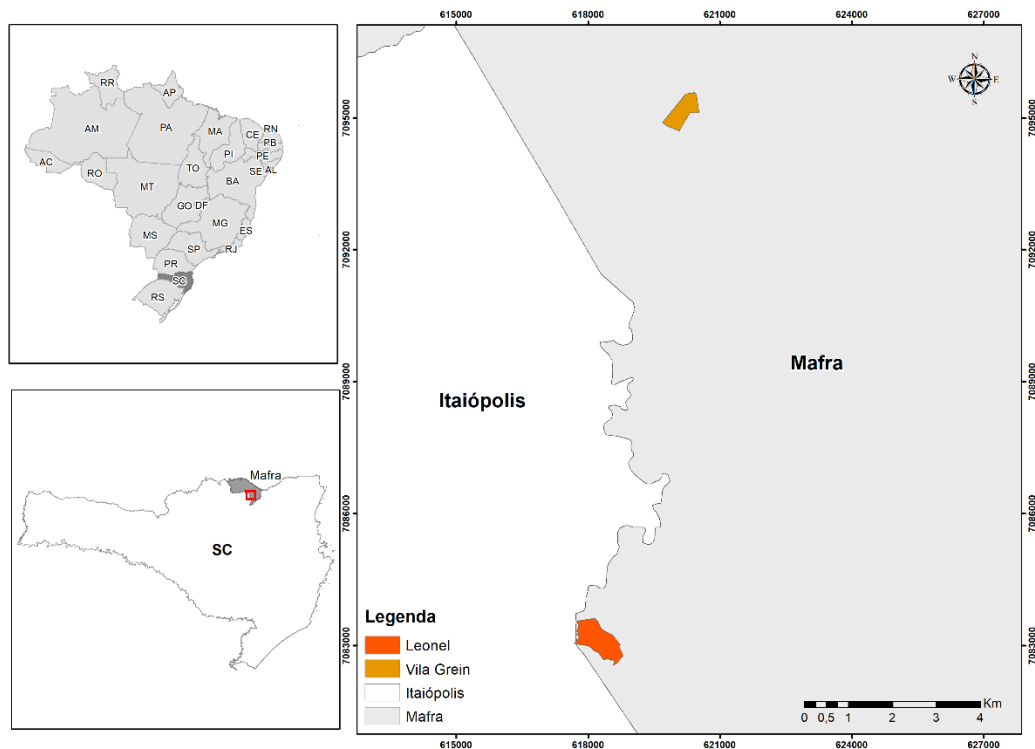
O estudo concluiu que o aplicativo KATAM™ Forest tem grande potencial para ser utilizado como abordagem de mensuração para inventários florestais, mas que necessita ainda de alguns desenvolvimentos e calibrações para aumentar a acurácia dos resultados (TÄLL, 2020).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

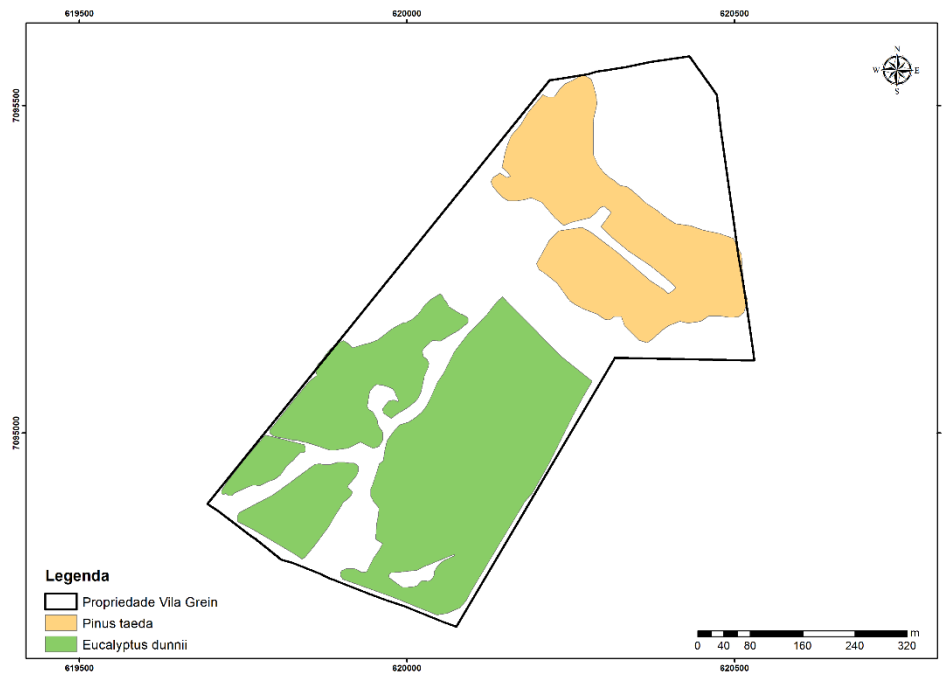
O estudo foi realizado abrangendo duas áreas com plantios florestais localizadas no município de Mafra, estado de Santa Catarina, distantes aproximadamente 15 km uma da outra (FIGURA 2). A área localizada mais ao Norte do município é chamada Vila Grein e apresenta área total de 35,14 ha, abrigando dois talhões para produção florestal (FIGURA 3): um com 13,8 ha de *E. dunnii* e outro com 6,7 ha de área plantada com *P. taeda*, que não foi alvo do presente estudo.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FLORESTAIS ABORDADAS NO ESTUDO



FONTE: O autor (2022).

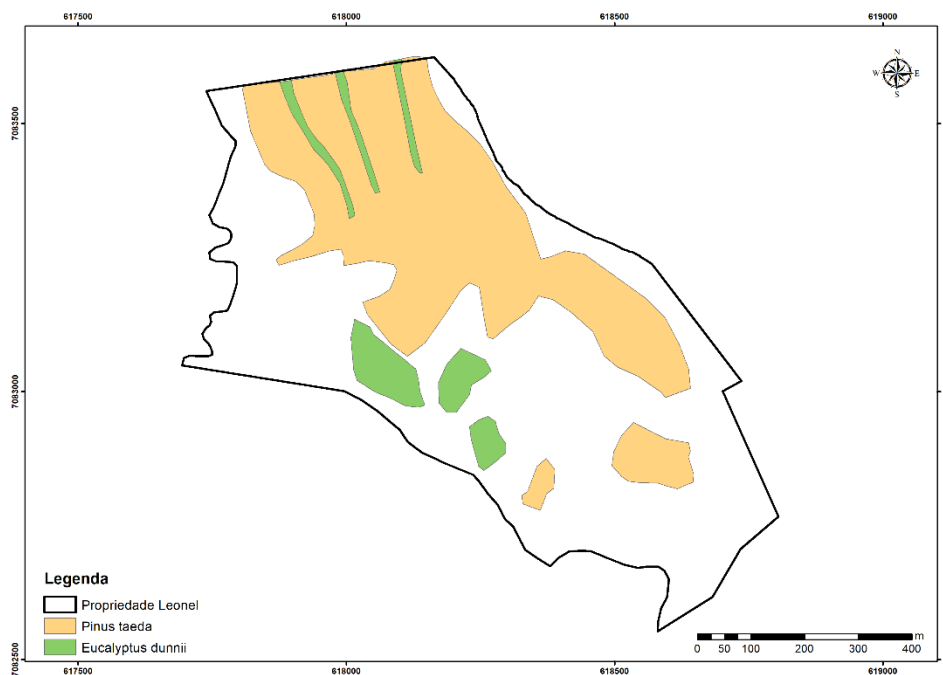
FIGURA 3 - TALHÕES FLORESTAIS DA PROPRIEDADE VILA GREIN



FONTE: O autor (2022).

A propriedade situada ao Sul de Mafra, denominada Leonel, detém 59,3 ha de área total, com 21,6 ha de *P. taeda* e 3,3 ha plantados com *E. dunnii*, em leiras entre o talhão de Pinus (FIGURA 4).

FIGURA 4 - TALHÕES FLORESTAIS DA PROPRIEDADE LEONEL



FONTE: O autor (2022).

Conforme o Banco de Dados de Informações Ambientais do IBGE (BDiA), as áreas situam-se predominantemente em Cambissolos Háplicos Alumínicos, que são solos típicos de relevos com declives acentuados e de pequena profundidade, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). O clima no município, segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2014), é temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas e sem estação seca, sendo do tipo Cfb. Maфра encontra-se a 809 metros de altitude, com relevo predominantemente ondulado (EPAGRI/CEPA, 2003).

As áreas de *P. taeda* foram plantadas no ano de 2004, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m. O manejo executado na área foi com a finalidade de obtenção de *utility wood*, com desbaste sistemático aos 8 anos e misto aos 13 anos e podas realizadas ao longo do ciclo até 7 m de altura. O talhão de *E. dunnii* na área denominada Vila Grein foi plantado com espaçamento 2,5 x 2,5 m em 2013 e não passou por desbastes.

Quanto às condições de sub-bosque, o talhão de *P. taeda* apresenta três tipos de sub-bosque ao longo da área, porém com mesma altura em geral (FIGURA 5). Já no talhão de *E. dunnii* na Vila Grein a condição de sub-bosque é homogênea ao longo da área, caracterizada pela presença de muitos galhos secos, arvoretas e arbustos de outras espécies, com maior dificuldade de caminhamento (FIGURA 6).

FIGURA 5 – CONDIÇÕES DE SUB-BOSQUE NO TALHÃO DE *P. taeda*



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 6 – CONDIÇÕES DE SUB-BOSQUE NO TALHÃO DE *E. dunnii* NA VILA GREIN

FONTE: O autor (2022).

### 3.2 COLETA DE DADOS – INVENTÁRIO COM KATAM

O procedimento de inventário florestal utilizando as soluções KATAM envolveu coletas de dados em campo com o aplicativo KATAM™ Forest e a coleta de dados aéreos utilizando um VANT para o KATAM™ TreeMap, seguindo às recomendações da empresa quanto a detalhes metodológicos (APÊNDICE 1).

#### 3.2.1 Coleta de dados com KATAM™ Forest

A coleta de dados em campo com o aplicativo para smartphone KATAM™ Forest ocorreu no dia 27 de fevereiro de 2022 e envolveu uma equipe composta por duas pessoas.

Para fins de comparação, o caminhamento nas áreas florestais se deu buscando abranger as proximidades das coordenadas das parcelas de inventário florestal tradicional, que foram aleatorizadas previamente no software QGIS e localizadas em campo com o auxílio do aplicativo *Avenza Maps*. Porém, nenhuma demarcação foi empregada, com o intuito de utilizar o aplicativo conforme às recomendações da KATAM, ou seja, sem a delimitação de parcelas conforme a metodologia de área fixa. Com isso, as parcelas foram distribuídas aleatoriamente pelos talhões.

A primeira área mensurada foi o talhão de *E. dunnii* na propriedade Vila Grein, com 42 unidades amostrais de área variável ao longo do talhão. Em seguida, foi realizada a mensuração na área de *P. taeda* denominada Leonel, com 32 parcelas

também de área variável. Em ambos os casos, buscou-se respeitar os tempos de gravação recomendados pela KATAM sempre que possível, ficando entre 60 e 90 segundos. Em algumas circunstâncias, dadas as dificuldades de caminhar em partes do talhão com sub-bosque mais denso, optou-se por encerrar o vídeo com menor tempo de gravação buscando evitar obstruções na câmera.

Como o processamento dos vídeos gravados não requeria a existência de conexão com a internet ou sinal de cobertura da operadora, alguns vídeos foram processados *in loco* para acompanhamento dos resultados e da performance da tecnologia e os demais foram processados durante o deslocamento de volta do campo.

As pequenas áreas de *E. dunnii* separadas do talhão de *P. taeda* não puderam ser acessadas devido a obstruções nas entrelinhas por taquarais densos e altos (FIGURA 7). Portanto, estas áreas não receberam amostras do inventário florestal tradicional nem medições com KATAM.

FIGURA 7 – SUB-BOSQUE OBSTRUÍDO POR TAQUARAL NO TALHÃO DE *E. dunnii* NA PROPRIEDADE LEONEL



FONTE: O autor (2022).

### 3.2.2 Coleta de dados para o KATAM™ TreeMap

As imagens aéreas destinadas ao processamento do KATAM™ TreeMap foram obtidas utilizando o drone DJI *Phantom 4 Advanced*. Os planos de voo foram previamente elaborados com as configurações recomendadas pela KATAM, com 120 m de altura de voo, sobreposição lateral de 85% e sobreposição frontal de 90%. Com isso, o GSD resultante das imagens foi de 5,17 cm.pixel<sup>-1</sup>.

Os voos foram realizados nos intervalos entre as mensurações das áreas com KATAM™ Forest e nas pausas nos dias de mensuração com inventário tradicional (FIGURA 8).

FIGURA 8 – VANT DJI PHANTOM 4 ADVANCED EM OPERAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS AÉREAS



FONTE: O autor (2022).

Após o retorno do campo, as imagens foram enviadas pelo portal web TreeMap e submetidas para processamento. Os *outputs* selecionados foram: versão estendida do relatório PDF com os resultados, ortomosaico e dados brutos em arquivo de texto.

### 3.3 COLETA DE DADOS – INVENTÁRIO TRADICIONAL

O inventário tradicional foi realizado nas áreas nos dias 7 e 8 de março de 2022 por uma equipe composta por três pessoas. O processo de amostragem utilizado foi a **amostragem aleatória simples**, com **13 unidades amostrais** na área denominada Leonel e 12 unidades amostrais na Vila Grein, que foram **previamente sorteadas em plataforma SIG**. Para a localização das parcelas em campo foi utilizado um **GPS Garmin 62CSX**.

Aplicou-se o método de **amostragem de área fixa** com unidades amostrais retangulares de dimensões 7,5 x 50 m totalizando uma área de parcela de 375 m<sup>2</sup>. As parcelas foram instaladas em campo com o auxílio de fitas métricas e com base no espaçamento das árvores no sentido das linhas de plantio, para que o efeito dos desbastes fosse considerado.

Para a mensuração do diâmetro a altura do peito (dap) de todas as árvores inseridas nas parcelas utilizou-se fitas métricas (FIGURA 9). **A altura foi mensurada em 18% das árvores da parcela, sendo as primeiras árvores da linha à direita em cada parcela**. Para a obtenção das alturas, duas pessoas da equipe foram envolvidas, utilizando um **clinômetro e uma fita métrica** (FIGURA 10). Adotou-se a distância padrão de 10 m entre o operador do clinômetro e a árvore para todas as medições. Os dados medidos em campo foram manualmente anotados em uma ficha de campo para serem posteriormente compilados em uma planilha eletrônica.

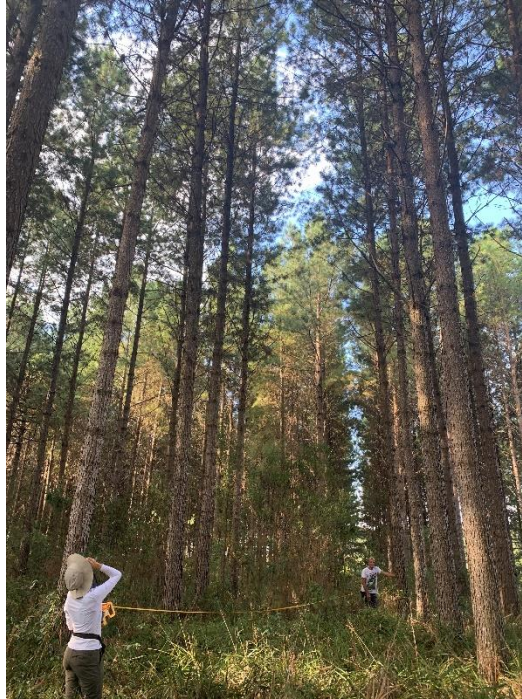
FIGURA 9 – MENSURAÇÃO DO DAP UTILIZANDO FITA MÉTRICA



FONTE: O autor (2022).



FIGURA 10 – MENSURAÇÃO DE ALTURA INDIVIDUAL UTILIZANDO CLINÔMETRO E TRENA



FONTE: O autor (2022).

### 3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO TRADICIONAL

Os dados do inventário florestal tradicional foram processados em planilha eletrônica utilizando o processo de **amostragem aleatória simples**, descrito por Péllico Netto e Brena (1997).

Para estimativa das alturas não mensuradas no inventário florestal, testou-se **modelos hipsométricos**. Para o talhão de *P. taeda* o **melhor modelo ajustado** foi o de **Assman**:

$$h = 27,36028 - 2464 \left( \frac{1}{DAP^2} \right)$$

Para o talhão de *E. dunnii* o **modelo logarítmico de Stoffels** foi o que apresentou melhor desempenho:

$$\ln(h) = 1,04623 + 1,59134 \log(DAP)$$

Os **volumes individuais** foram estimados em função das **variáveis altura e DAP**. Para o talhão de *P. taeda* foi utilizada a **equação volumétrica de Schumacher & Hall** ajustada para a espécie em Santa Catarina (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014):

$$v = 0,000038.DAP^{2,656}.h^{0,201}$$

Já para o talhão de *E. dunnii* utilizou-se para a estimativa a equação volumétrica de Schumacher & Hall ajustada por Batista (2014) para plantios da espécie no planalto catarinense:

$$\ln(v) = -9,77463 + 1,92778 \ln(DAP) + 0,91743 \ln(h)$$

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO FLORESTAL COM A FERRAMENTA DA KATAM

O processamento dos dados do inventário florestal com a ferramenta da KATAM ocorreu em duas etapas, em função do uso das duas soluções combinadas. De início, os dados obtidos pelo aplicativo KATAM™ Forest foram processados no próprio smartphone através do processamento dos vídeos coletados. Conforme os vídeos são processados, as estatísticas do inventário vão sendo atualizadas dentro do talhão no aplicativo (FIGURA 11). Há duas possibilidades para o processamento dos vídeos no KATAM™ Forest: profundidade fixa e profundidade dinâmica. Na primeira, é determinada uma distância pelo usuário até onde o algoritmo vai identificar as árvores a partir da posição do operador com o celular. Na segunda, o algoritmo identifica e mede as árvores até onde conseguir, de forma dinâmica e variável de acordo com a situação da floresta em cada trecho de medição. Para o presente trabalho, todos os vídeos foram processados com profundidade dinâmica para usar o máximo da capacidade do aplicativo em cada parcela.

Assim que o *smartphone* é conectado à internet, os dados processados dentro do aplicativo são automaticamente enviados para a nuvem e são considerados para o restante do processamento.

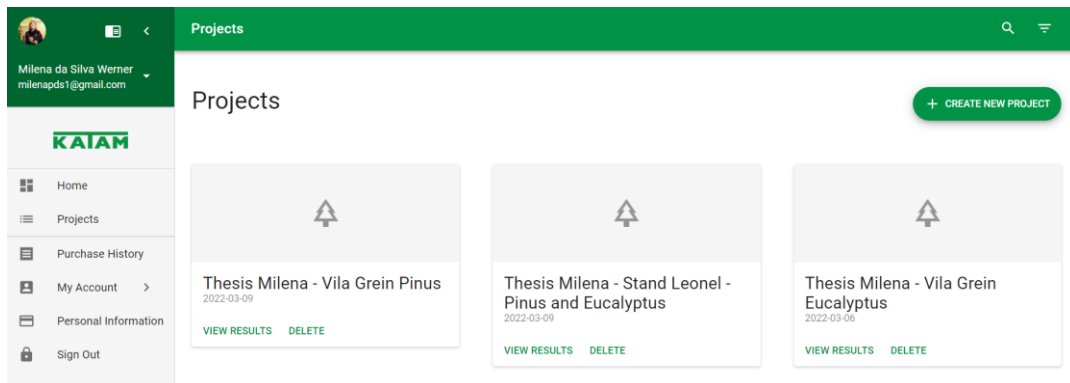
FIGURA 11 – INTERFACE DO APLICATIVO KATAM™ FOREST APÓS O PROCESSAMENTO DE TODOS OS VÍDEOS GRAVADOS NO TALHÃO DE *P. taeda*



FONTE: O autor (2022).

A segunda etapa consiste no upload das imagens aéreas obtidas e dos limites dos talhões em formato *kml* ou *shapefile* no portal TreeMap, criando um projeto para cada talhão analisado (FIGURA 12). A partir do upload, os projetos são submetidos para processamento e são processados em nuvem pela equipe especialista em florestas da KATAM na Suécia. Neste processamento os dados de dap coletados no interior da floresta com o aplicativo também são considerados. Como resultados e *outputs* foram recebidos os relatórios (ANEXOS 1 e 2), ortomosaicos e os dados brutos em arquivos de texto.

FIGURA 12 – PORTAL TreeMap PARA UPLOAD DE IMAGENS AÉREAS E RECEBIMENTO DOS RESULTADOS



FONTE: O autor (2022).

### 3.6 COMPARAÇÃO EM TERMOS DE RENDIMENTO OPERACIONAL

Para comparar o rendimento operacional das abordagens considerando os tempos e movimentos, no inventário tradicional o tempo necessário para a medição de cada talhão foi registrado manualmente, enquanto o aplicativo KATAM™ Forest registra automaticamente o tempo necessário para cada parcela.

Além disso, nas fichas de campo foram registrados os tempos de início e fim de cada parcela do inventário florestal tradicional. Dessa forma, foi possível mensurar o tempo gasto com medição das parcelas e com deslocamento entre unidades amostrais. Já os tempos de pausa para descanso e alimentação no trabalho em campo não foram considerados. Ainda para o inventário florestal tradicional, o tempo empregado na digitação dos dados e no processamento do inventário em planilha eletrônica também foi considerado. Para o inventário com a ferramenta da KATAM, houve a contabilização do tempo despendido na coleta de imagens aéreas e no posterior *upload* no portal TreeMap.

### 3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA COMPARAÇÃO DAS ABORDAGENS

Utilizando a versão de 2022 para estudantes do software MATLAB, foi aplicado o teste  $T^2$  de Hotteling para amostras independentes e variâncias diferentes para a comparação dos dois vetores de médias das variáveis, para cada espécie: dap, altura total,  $G \cdot ha^{-1}$ ,  $V \cdot ha^{-1}$  e  $arv \cdot ha^{-1}$ . Este teste é uma análise estatística multivariada que, ao invés de comparar as variáveis individualmente em testes de média, considera

o vetor de médias das variáveis de interesse e o vetor de variância e covariância entre elas. Com isso, como as variáveis dendrométricas alvo do estudo são correlacionadas entre si, a avaliação das médias entre as diferentes abordagens se torna mais acurada do que a aplicação do teste de médias considerando as variáveis isoladamente.

Em seguida, o teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) foi aplicado para as distribuições de frequência das variáveis dap e altura total para cada espécie. Ambos os testes foram avaliados a nível de 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL NAS ABORDAGENS TRADICIONAL E KATAM

#### 4.1.1 Comparações das abordagens de inventário florestal em *P. taeda*

O valor de  $T^2$  calculado para a análise dos resultados de *P. taeda* foi de 59,9851, que é significativa ao nível de 5% de significância, indicando que há diferença estatística entre as duas abordagens de inventário florestal.

É importante ressaltar que, como o presente trabalho objetiva avaliar as abordagens em populações onde o parâmetro não é conhecido, não é possível afirmar qual deles é o correto, se é que um deles contempla o valor paramétrico em seu intervalo de confiança. Por isso, nenhum dos métodos pode ser considerado como referência, eles podem apenas ser avaliados quanto às diferenças encontradas e as possíveis causas identificadas para tais.

Para analisar quais variáveis mais contribuem para que haja diferença estatística entre as abordagens, os vetores de média foram avaliados. Com relação à performance das abordagens no talhão de *P. taeda*, é possível observar na TABELA 1 que as variáveis que mais explicam a diferença são  $V.ha^{-1}$  e  $arv.ha^{-1}$ , enquanto as demais apresentam menores desvios entre si.

TABELA 1 – VETORES DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO TESTE  $T^2$  DE HOTTELING PARA *P. taeda*

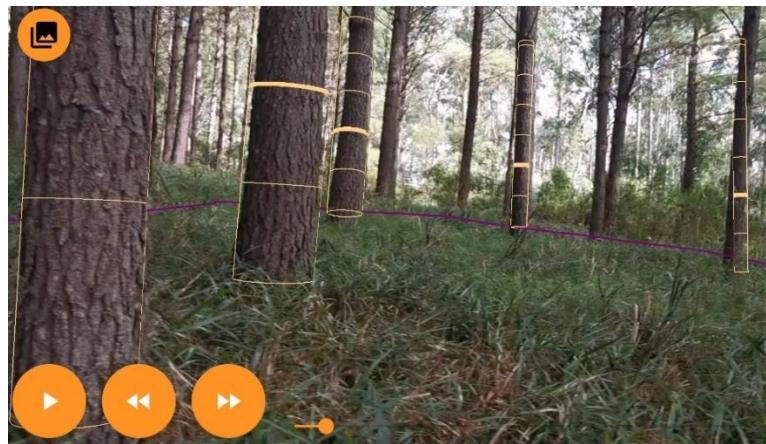
Abordagem	dap	h	G.ha <sup>-1</sup>	V.ha <sup>-1</sup>	arv.ha <sup>-1</sup>
	(cm)	(m)	(m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	
Tradicional	31,6	24,6	38,9	356,5	488,2
KATAM	27,9	22,2	34,7	291,0	549,1

FONTE: O autor (2022).

Como a variável  $V.ha^{-1}$  é estimada em função das variáveis dap e altura, a pequena diferença nestas duas, que são menores na abordagem KATAM, influenciam no resultado de  $V.ha^{-1}$  obtido. Durante a análise dos dados obtidos com KATAM, incluindo a análise visual dos vídeos gravados e processados, foi identificado como um possível fator limitante a presença de sub-bosque formado por gramíneas altas na

área de *P. taeda*. Como o algoritmo de processamento do aplicativo identifica o terreno para projetar a altura de 1,30 m e então medir o dap, a presença de sub-bosque faz com que o diâmetro seja mensurado acima da altura de 1,30 m na árvore, visto que o sub-bosque dificulta a correta projeção do chão da floresta (FIGURA 13). Com isso, por conta da conicidade das árvores, é possível que haja um erro sistemático que subestima o dap.

FIGURA 13 – CAPTURA DE TELA DO APLICATIVO KATAM™ FOREST MOSTRANDO A ALTURA ONDE O DAP FOI MENSURADO NAS ÁRVORES A PARTIR DA IDENTIFICAÇÃO DO CHÃO DA FLORESTA



FONTE: O autor (2022).

Contudo, este erro pode ser corrigido a partir da implementação de um fator de correção calculado com base no desvio existente entre o dap, isto é, o diâmetro na altura de 1,30 m, e o diâmetro mensurado pelo aplicativo em uma altura superior, em ocasiões com a presença de sub-bosque. Isso evitará erros sistemáticos que subestimem o diâmetro em situações similares a esta.

O número de árvores por hectare da abordagem KATAM avaliado no teste T<sup>2</sup> de Hotteling não foi o obtido a partir do processamento TreeMap, visto que para este teste é necessário considerar o valor da variável por parcela. Por isso, foi utilizada a densidade em arv.ha<sup>-1</sup> obtida pela extrapolação de cada parcela mensurada com KATAM™ Forest. Diante disto, a diferença no número de árvores por hectare obtida no teste pode ser devido ao fato de as amostragens serem diferentes, ou seja, de que as abordagens não mediram estritamente as mesmas áreas. A densidade obtida com o processamento KATAM™ TreeMap foi em média de 524 arv.ha<sup>-1</sup>, que se aproxima mais da densidade estimada no inventário tradicional.

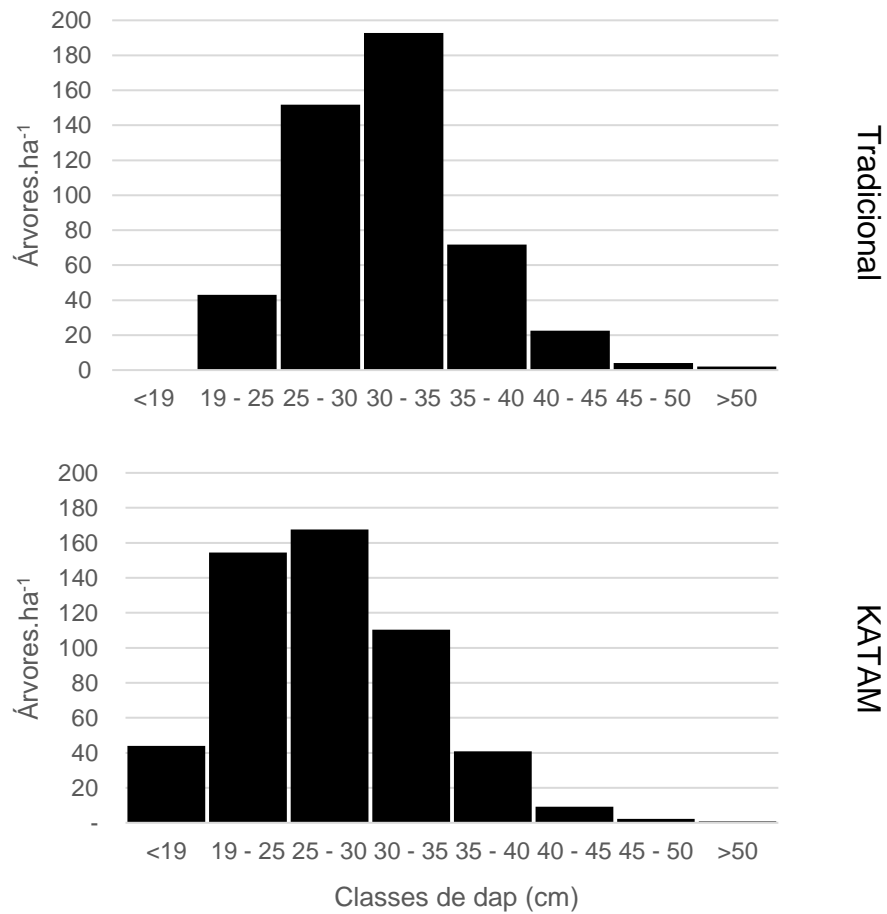
Com relação à altura, Durrieu *et al.* (2015) observa que, em geral, as alturas são normalmente subestimadas quando obtidas por fotogrametria em função da suavização do topo das árvores, o que pode explicar a diferença existente na média obtida com as abordagens, onde KATAM apresentou valor inferior.

Analisando as distribuições de frequência das variáveis dap e altura total, visualmente e através do teste Qui-quadrado, que resultou em  $\chi^2$  igual à 347,59 para o dap e igual à 2.291,87 para altura total, verifica-se que há diferença estatística significativa ao nível de 5% de significância entre as abordagens na frequência de árvores em cada classe de dap e altura.

Para o dap (GRÁFICO 1), é possível observar que as distribuições apresentam padrão similar, porém com um deslocamento no eixo x, visto que com KATAM há ocorrência de árvores com diâmetro inferior à 19 cm, enquanto no inventário tradicional não há. Isso indica a possibilidade de um erro sistemático que subestima o dap nas medições com KATAM™ Forest, que pode ser explicado pela presença de sub-bosque.



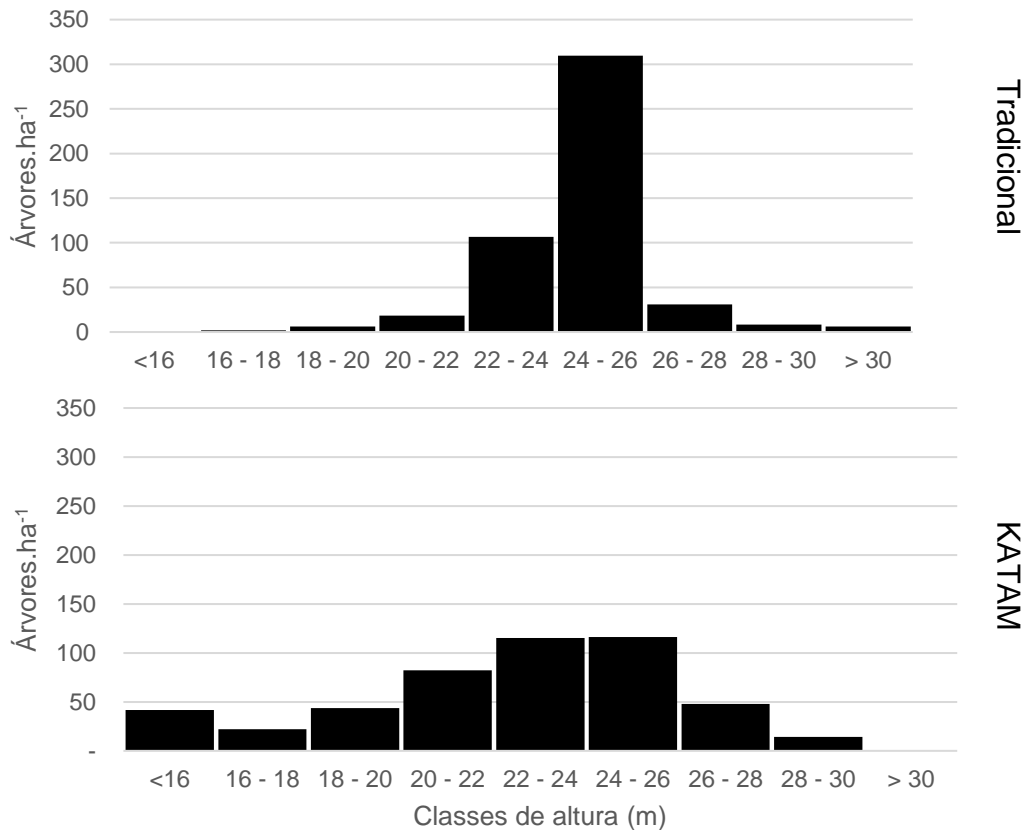
GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA *P. taeda*



FONTE: O autor (2022).

Para a variável altura total (GRÁFICO 2) a diferença nas distribuições obtidas é mais expressiva, onde observa-se que na abordagem de inventário florestal tradicional as alturas se concentram na classe de 24 a 26 m, enquanto no método KATAM elas são mais distribuídas entre as classes.

GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÕES HIPSEMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA *P. taeda*



FONTE: O autor (2022).

É possível que a diferença observada neste caso seja em função de se ter, em sua maioria, alturas estimadas com uma função hipsométrica no inventário florestal tradicional e alturas medidas na abordagem KATAM, através do processamento KATAM™ TreeMap. Além disso, o ajuste das equações hipsométricas na abordagem tradicional para *P. taeda* apresentou baixa correlação entre as variáveis, sendo que o melhor modelo ajustado chegou a um  $R^2$  de 0,20. Diante disto, não é possível concluir qual distribuição representa melhor a realidade da floresta, visto que o parâmetro é desconhecido. Contudo, a presença de árvores dentro da classe de altura inferior à 16 m na distribuição hipsométrica da abordagem KATAM pode ser devida à característica previamente citada de uma tendência em subestimar as alturas com medições a partir de fotogrametria (DURRIEU *et al.*, 2015).

Através da análise visual dos vídeos processados no aplicativo KATAM™ Forest, observou-se o notável desempenho da ferramenta quanto à detecção das árvores, com pouca ocorrência de não detecções. Isto aponta para o potencial da

aplicação da tecnologia, com os devidos ajustes para a adequação às condições de florestas plantadas de *P. taeda* similares às do presente estudo para as mensurações.

Para avaliar a hipótese levantada de influência do sub-bosque no resultado das medições de dap é necessário executar maiores estudos, avaliando o desvio a nível de árvore individual com uma situação testemunha, sem sub-bosque, e outras situações com estruturas de sub-bosque comuns nas florestas plantadas desta espécie na região.

#### 4.1.2 Comparações das abordagens de inventário florestal em *E. dunnii*

Para *E. dunnii* o valor de  $T^2$  calculado foi de 279,9783, significativo ao nível de 5% de significância, mostrando que há diferença estatística nos vetores de médias obtidos nas abordagens de inventário florestal testadas. Observando os vetores de médias (TABELA 2), é possível verificar que grande parte desta diferença se dá em função das variáveis densidade ( $\text{arv.ha}^{-1}$ ) e  $\text{V.ha}^{-1}$ .

TABELA 2 – VETORES DE MÉDIAS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO TESTE  $T^2$  DE HOTTELING PARA *E. dunnii*

Abordagens	dap (cm)	h (m)	G.ha <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	V.ha <sup>-1</sup> (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	arv.ha <sup>-1</sup>
Tradicional	14,7	17,9	24,0	241,1	1208,9
KATAM	16,8	21,2	22,0	177,8	891,9

FONTE: O autor (2022).

Considerando os aspectos silviculturais e de manejo na área de *E. dunnii*, com espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m sem a realização de desbastes, espera-se uma densidade próxima de 1.400 árvores por hectare, adotando uma taxa de mortalidade inicial das mudas de 10%. Diante disto, observa-se que o inventário florestal com KATAM nesta área subestimou o número de árvores por hectare e que a estimativa obtida na abordagem tradicional se aproxima mais do valor esperado.

Da mesma forma que para o talhão de *P. taeda*, a densidade em  $\text{árvores.ha}^{-1}$  obtida com na abordagem KATAM avaliada no teste  $T^2$  de Hotteling não foi a obtida a partir do KATAM™ TreeMap, visto que para este teste é necessário considerar o valor da variável por parcela. Portanto, utilizou-se a densidade obtida pela

extrapolação de cada parcela mensurada com KATAM™ Forest. Contudo, a densidade obtida com o KATAM™ TreeMap foi similar à do aplicativo.

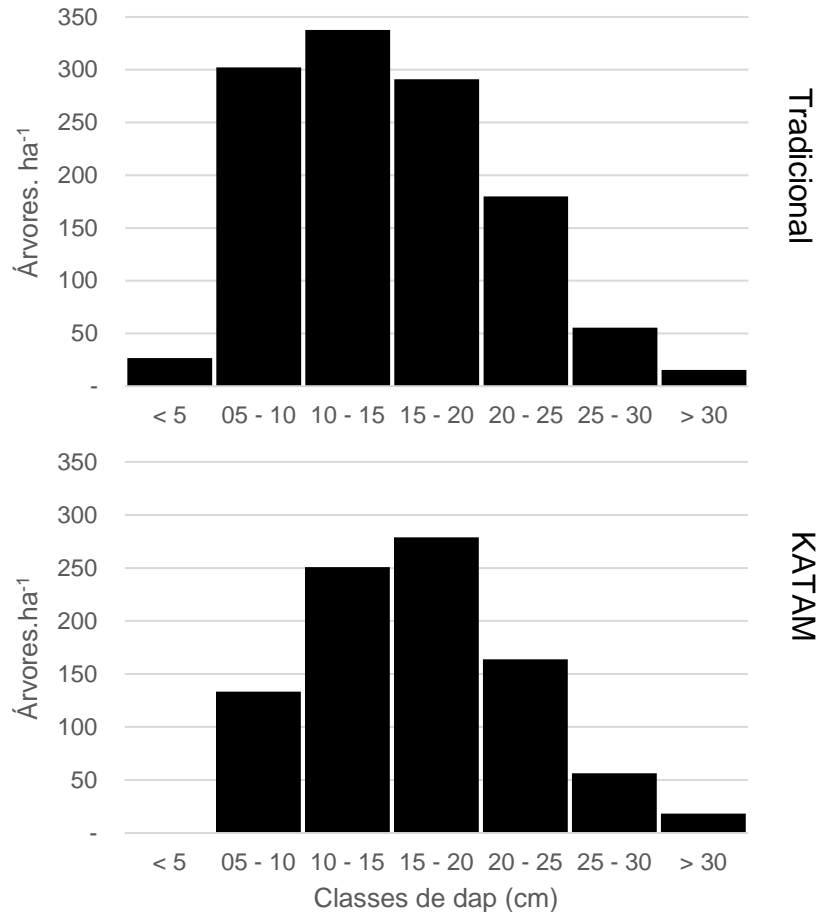
Esta subestimativa na densidade com a abordagem KATAM, segundo os especialistas florestais da empresa, tem relação com a dificuldade que as florestas plantadas de *Eucalyptus spp.* apresentam tanto para o aplicativo quanto para a fotogrametria, por serem caracterizadas com sub-bosque de cor similar aos fustes e com muitos galhos e arvoretas. Além disso, após a finalização dos resultados, a equipe da KATAM apontou que as imagens obtidas com o VANT apresentavam elevado sombreamento em função do ângulo dos raios solares no momento do voo, o que pode ter afetado negativamente os resultados e que deve ser um ponto de atenção na fase de coleta de dados. Como próximos passos, recomenda-se o retreinamento do algoritmo com aprendizado de máquina para que haja melhor adequação às características da floresta e, possivelmente das imagens, melhorando os resultados. Cabe pontuar que a diferença na variável  $V \cdot ha^{-1}$  sofre influência desta subestimativa na densidade, o que pode explicar o menor volume obtido com KATAM.

Com relação ao teste  $\chi^2$  de ajuste para as distribuições de frequência das variáveis dap e altura total de *E. dunnii*, obteve-se  $\chi^2$  de 146,08 para o dap e de 613,8 para altura total, ambos significantes ao nível de 5% de significância.

No caso da variável dap, nota-se no GRÁFICO 3 que a maior diferença se encontra nas duas primeiras classes de diâmetro, especialmente na classe de 5 a 10 cm. Como o aplicativo KATAM™ Forest possui diâmetro mínimo detectável de 6 cm, é possível que parte da diferença seja explicada em função disto, além do efeito na diferença já discutida na variável densidade, que altera as frequências ocorridas nas classes em função do número de árvores. Por outro lado, esta diferença também pode ser decorrida do fato de as abordagens considerarem diferentes árvores do povoamento em sua amostragem, com maior cobertura na abordagem KATAM com 5,93% de intensidade amostral, frente à 3,26% na abordagem tradicional. Ademais, a variância do povoamento de *E. dunnii* na propriedade Leonel é elevada e inclusive ocasionou insuficiência amostral com o processamento do inventário tradicional. Contudo, devido às limitações no tempo e recursos disponíveis para um novo trabalho de campo mensurando o número de parcelas faltantes, não foi possível obter suficiência amostral para o presente trabalho. Com isso, considerando que o parâmetro da população é desconhecido, não é possível afirmar qual das abordagens obteve maior acurácia para a variável dap. Estudos em condições em que se conheça

os valores paramétricos da população são necessários para obter uma conclusão neste aspecto.

GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÕES DIAMÉTRICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA *E. dunnii*



FONTE: O autor (2022).

Täll (2020), em seu estudo comparando um inventário florestal com KATAM™ Forest com uma abordagem tradicional utilizando suta para medição do dap, identificou que há dificuldades em utilizar o aplicativo KATAM™ Forest em povoamentos florestais com estrutura de elevada densidade, principalmente pela maior presença de árvores mais finas que são mais prováveis de não serem detectadas pelo algoritmo. Apesar de ter realizado seu estudo em florestas nórdicas, que têm características muito diferentes das florestas plantadas brasileiras, é possível relacionar esta observação com os povoamentos florestais de *Eucalyptus spp.*, que são normalmente plantados com espaçamento de 2,0 x 2,0 m ou 2,5 x 2,5 m sem a ocorrência de desbastes, caracterizando-os como povoamentos com estrutura de alta

densidade. Neste caso, é possível que haja maior dificuldade na adequação das tecnologias para povoamentos desta espécie. Já os povoamentos florestais de *Pinus spp.* que são manejados para obtenção de *Utility Wood* são mais propensos para o sucesso das tecnologias, por serem manejados com a realização de desbastes e podas, deixando o sub-bosque com mais espaço para o caminhamento e promovendo maior homogeneidade da população.

O efeito do sub-bosque presente no talhão de *E. dunnii*, apesar de dificultar a detecção das árvores mais distantes, limitando uma maior profundidade de alcance no vídeo, não impediu uma boa detecção das árvores (FIGURA 14).

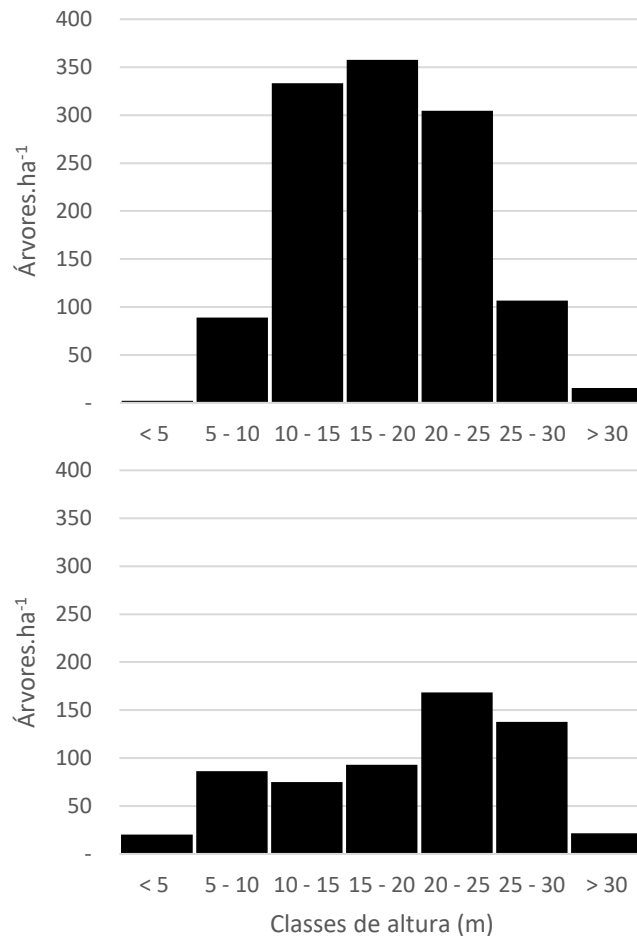
FIGURA 14 – CAPTURA DE TELA DO APLICATIVO KATAM™ FOREST PARA O TALHÃO DE *E. dunnii* DEMONSTRANDO A DETECÇÃO DAS ÁRVORES



FONTE: O autor (2022).

Para a variável altura total, observa-se nítida diferença no comportamento das frequências nas distribuições (GRÁFICO 4). Assim como no dap, a distribuição desta variável na abordagem KATAM é influenciada pela subestimativa do número de árvores por hectare identificada.

GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÕES HIPSONÔMICAS OBTIDAS NAS ABORDAGENS DE INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL E KATAM PARA *E. dunni*



FONTE: O autor (2022).

Porém, da mesma forma que no talhão estudado de *P. taeda*, é necessário que maiores estudos sejam realizados testando as tecnologias KATAM em condições em que os valores paramétricos sejam conhecidos, para que se possa comparar ambas as abordagens de amostragem com os valores reais da população e chegar a conclusões sobre acurácia.

Para ambas as espécies, é necessário maiores desenvolvimentos e calibrações nas tecnologias para melhorar seu desempenho nas condições das florestas plantadas brasileiras. Cabe ressaltar que Täll (2020) obteve bons resultados quando comparou um inventário florestal utilizando KATAM™ Forest com uma abordagem tradicional, sem diferença significativa nas estimativas, e isto pode ser considerado como indicativo de que realmente há grande potencial na utilização destas tecnologias em inventários florestais, desde que haja as adequações e calibrações necessárias para novos tipos de povoamentos florestais.

## 4.2 RENDIMENTO OPERACIONAL

Os tempos registrados durante as etapas dos inventários florestais em ambas as abordagens, para cada talhão, desde a coleta até o processamento dos dados, são apresentados nas TABELAS 3 e 4.

TABELA 3 – TEMPOS PARCIAIS E TOTAL GASTOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL COM TECNOLOGIA KATAM, EM HORAS

<b>Talhão</b>	<b>Tempo medições com KATAM™ Forest</b>	<b>Tempo voos de drone</b>	<b>Tempo upload no portal TreeMap</b>	<b>Total</b>
Vila Grein	02:00	00:30	00:23	02:53
Leonel	01:55	01:50	00:22	04:07

FONTE: O autor (2022).

TABELA 4 – TEMPOS PARCIAIS E TOTAL GASTOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL TRADICIONAL, EM HORAS

<b>Talhão</b>	<b>Tempo de Medição das Parcelas</b>	<b>Tempo de Deslocamento</b>	<b>Tempo Digitação de Dados</b>	<b>Tempo Processamento Inventário</b>	<b>Tempo Total</b>
Vila Grein	04:00	01:35	01:20	01:15	08:10
Leonel	02:22	01:22	00:55	01:46	06:25

FONTE: O autor (2022).

O tempo gasto ao todo para realizar um inventário florestal com as ferramentas da KATAM foi de aproximadamente metade do tempo gasto no inventário florestal tradicional. Cabe ressaltar que o tempo de processamento do inventário florestal tradicional tende a ser menor quando realizado por um profissional com mais experiência e que o presente trabalho considera as condições de experiência de uma pessoa que recém ingressou no mercado de trabalho.

Contudo, considerando as diferenças na intensidade amostral obtida com cada abordagem de inventário apresentadas na TABELA 5, é possível perceber que, na realidade, o tempo gasto com KATAM é ainda menor em comparação com a abordagem tradicional.



TABELA 5 – INTENSIDADE AMOSTRAL OBTIDA COM CADA ABORDAGEM

<b>Talhão</b>	<b>KATAM</b>	<b>Tradicional</b>
Vila Grein	5,93%	3,26%
Leonel	5,99%	2,25%

FONTE: O autor (2022)

Se for utilizado um fator de proporcionalidade para tratar do tempo total gasto em cada abordagem para amostrar um hectare do povoamento, conforme as respectivas intensidades amostrais, observa-se que com KATAM o tempo empregado para realização de um inventário florestal é cerca de 2 vezes menor para o talhão de *E. dunnii* e 2,3 vezes menor para o talhão de *P. taeda* (TABELA 6).

TABELA 6 – TEMPO TOTAL (HORAS) GASTO EM CADA MÉTODO PARA AMOSTRAR 1 HECTARE DE FLORESTA CONFORME AS RESPECTIVAS INTENSIDADES AMOSTRAS

<b>Talhão</b>	<b>KATAM</b>	<b>Tradicional</b>
Vila Grein	0,21	0,41
Leonel	0,19	0,43

FONTE: O autor (2022).

Considerando que o número de integrantes na equipe de coleta de dados em campo influencia diretamente no custo da operação, é importante avaliar o tempo empregado em horas/homem em cada uma das abordagens. Portanto, para tratar do rendimento operacional de forma ainda mais palpável, considerando que para o inventário com KATAM a equipe foi composta por duas pessoas e para o tradicional por três, o tempo de mensuração das parcelas e de deslocamento foi multiplicado pelo número de pessoas envolvidas para cada um das abordagens obtendo o rendimento operacional em horas.homem.ha<sup>-1</sup> (TABELA 7).

TABELA 7 – TEMPO TOTAL GASTO COM CADA ABORDAGEM EM HORAS.HOMEM<sup>-1</sup>

<b>Talhão</b>	<b>KATAM</b>	<b>Tradicional</b>
Vila Grein	5,97	42,96
Leonel	4,66	28,48

FONTE: O autor (2022).

Tratando da métrica de tempo gasto para mensurar um hectare por integrante da equipe, a realização de um inventário com as soluções KATAM na área de *E. dunnii*

leva aproximadamente 7 vezes menos tempo do que o inventário tradicional e 6 vezes menos tempo na área de *P. taeda*, conforme a metodologia empregada.

Para a realização do inventário florestal com tecnologias KATAM é necessário apenas uma pessoa em campo para operar o aplicativo e fazer a coleta de dados com VANT. Contudo, por questões de saúde e segurança do trabalho, como nunca é recomendado que uma pessoa esteja sozinha em campo, o presente trabalho contou com duas pessoas trabalhando juntas no inventário com KATAM. Uma opção de configuração da equipe de trabalho seria que ambas os integrantes da equipe estivessem coletando dados em talhões próximos, o que dobraria o rendimento operacional.

Gasparoto (2017) obteve como um dos resultados de sua pesquisa apresenta que as empresas de base florestal identificam como oportunidades ao inventário florestal principalmente conseguir reduzir o custo da operação de inventário e obter maior agilidade na mensuração. Aliada a isto, as empresas identificam como fatores limitantes do inventário florestal nos moldes em que hoje é realizado a quantidade de mão de obra em campo, a falta de capacitação técnica e treinamento das equipes, o a grande quantidade de tempo dispendida na realização dos inventários e o orçamento reduzido da empresa. Considerando este contexto, é possível observar que há grande potencial na aplicação das soluções KATAM quando tratamos do elevado rendimento operacional com menor quantidade de mão de obra necessária em campo.

A amplitude desta diferença em termos de rendimento operacional se dá principalmente em função da diferença na abordagem de mensuração das variáveis dendrométricas em campo, visto que, enquanto na forma tradicional as árvores são medidas manualmente, uma a uma, com as soluções da KATAM as mensurações são digitais. Com isso, o tempo médio gasto para medir uma parcela na abordagem de inventário tradicional é de 15 minutos para *P. taeda* e de 20 minutos para *E. dunnii*. Enquanto no inventário com KATAM, o tempo médio para medir uma parcela na área de *P. taeda* e de *E. dunnii* é de 2 à 3 minutos, considerando a obtenção de dados com KATAM™ Forest e KATAM™ TreeMap.

Outro fator que influencia nessa grande diferença consiste na digitação e processamento dos dados, que é manual e moroso no inventário florestal tradicional nas configurações aplicadas e automático no inventário com KATAM, visto que nele a mensuração já promove digitalização e processamento instantâneos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado apresentando uma abordagem comparativa entre as tecnologias KATAM™ e o inventário tradicional é possível concluir que as médias obtidas por cada abordagem para as variáveis dap, altura total,  $G.ha^{-1}$ ,  $V.ha^{-1}$  e  $arv.ha^{-1}$  para *P. taeda* e *E. dunnii* foram estatisticamente significantes à 95% de probabilidade. Contudo, como os valores paramétricos das populações analisadas são desconhecidos, não é possível afirmar qual das abordagens melhor estimou as variáveis.

Para *P. taeda* identificou-se como um possível fator limitante a presença de sub-bosque formado por gramíneas, que pode gerar um erro sistemático que subestima a variável dap. Frente a isto, recomenda-se maiores estudos sobre este tópico buscando propor um fator de correção que possa ser aplicado para melhor adequação da tecnologia em áreas com presença de sub-bosque.

A densidade em árvores por hectare foi subestimada para *E. dunnii* com a abordagem da KATAM, possivelmente em função da qualidade das imagens aéreas obtidas e da estrutura de sub-bosque do talhão que é desafiadora para a tecnologia. Portanto, deve-se atentar para a coleta de dados com VANT em horário mais apropriado, evitando sombreamento elevado, e os algoritmos aplicados devem ser retreinados para adequar-se melhor à estrutura de povoamentos do gênero.

O rendimento operacional de um inventário florestal com KATAM é cerca de 7 vezes maior para *E. dunnii* e de 6 vezes maior para *P. taeda* quando comparado à abordagem tradicional nas configurações empregadas. Envolvendo uma equipe menor e menos tempo de trabalho, as tecnologias KATAM têm potencial para reduzir os custos e aumentar a agilidade nas operações de inventário florestal.

Há potencial para a utilização das tecnologias KATAM nas florestas plantadas de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* no Brasil, contudo, ainda há calibrações e melhorias a serem estudadas e executadas para melhorar sua adequação nas condições dos plantios florestais brasileiros.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como este é o primeiro trabalho de pesquisa abordando as tecnologias KATAM no Brasil, recomenda-se a elaboração de maiores estudos sobre o assunto,

onde seja possível comparar os resultados obtidos com KATAM com os valores paramétricos da população, para maiores conclusões acerca da acurácia.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728. Stuttgart. 2014. Disponível em: [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_et\\_al\\_2014.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_et_al_2014.pdf). Acesso em: 23 mar. 2022.
- BDiA – Banco de dados de informações ambientais – IBGE. Pedologia from Mafra/SC: banco de dados. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- BIRDAL, A. C.; AVDAN, U.; TÜRK, T. Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 8, n. 2, p. 1144–1156, 2017.
- BONHAM, C. D. **Measurements for Terrestrial Vegetation Measurements**. 1. ed. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2013
- BONNET, S.; LISEIN, J.; LEJEUNE, P. Comparison of UAS photogrammetric products for tree detection and characterization of coniferous stands detection and characterization of coniferous stands. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 19, p. 5310–5337, 2017.
- CORTE, A. P. D *et al.* High-Density UAV-LiDAR in an Integrated Crop-Livestock-Forest System: Sampling Forest Inventory or Forest Inventory Based on Individual Tree Detection (ITD). **Drones**. 2022, 6, 48.
- CORTE, A.P.D. *et al.* Forest inventory with high-density UAV-Lidar: Machine learning approaches for predicting individual tree attributes. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2020b, 179, 105815.
- CORTE, A.P.D. *et al.* Measuring individual tree diameter and height using gatoreye high-density UAV-lidar in an integrated crop-livestock-forest system. **Remote Sensing**, 2020a, 12(5), 863.
- DANDOIS, J. P.; OLANO, M.; ELLIS, E. C. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision uav estimates of forest structure. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 13895–13920, 2015.
- DURRIEU, S. *et al.* Optical Remote Sensing of Tree and Stand Heights. In: THENKABAIL, P. S. (Ed.). **Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing**. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 449–485.
- EPAGRI - Instituto Cepa/SC. **Caracterização Regional: Mafra**. Maio 2003. Disponível em: [http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/diagnostico/MAFRA.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/MAFRA.pdf). Acesso em: 09 mar. 2022.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V.; RETSLAFF, F. A. S. **Compêndio de equações de volume e afilamento de espécies florestais**

**plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil.** Curitiba: editado pelos autores. 2014. 306p.

GOODBODY, T.R., Coops, N.C., Marshall, P.L., Tompalski, P., Crawford, P., 2017. Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. **The Forestry Chronicle** 93, 71–81.

GRANSHAW, S. I. Photogrammetric Terminology: Third Edition. **Photogrammetric Record**, v. 31, n. 154, p. 210–252, 2016.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; JARDIM, F. C. S. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 91–103, 1982.

HENTZ, A. M. K. **Obtenção de informações dendrométricas para inventário florestal automatizado por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT).** 2018. 238 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2018.

JENSEN, J. L. R.; MATHEWS, A. J. Assessment of image-based point cloud products to generate a bare earth surface and estimate canopy heights in a woodland ecosystem. **Remote Sensing**, v. 8, n. 1, 2016.

JONES, A. R. *et al.* Estimating Mangrove Tree Biomass and Carbon Content: A Comparison of Forest Inventory Techniques and Drone Imagery. **Frontiers in Marine Science**. 6:784. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00784/full>. Acesso em: 25 fev. 2022.

KANGAS, A. *et al.* Remote sensing and forest inventories in nordic countries – roadmap for the future. **Scandinavian Journal of Forest Research** 33, 397–412. 2018.

KANGAS, A. Model-Based Inference. *In*: KANGAS, A.; MALTAMO, M. **Forest Inventory**. Berlin: Springer, 2009. p. 39-52. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225256592\\_Model-Based\\_Inference](https://www.researchgate.net/publication/225256592_Model-Based_Inference). Acesso em: 20 fev. 2022.

KERSHAW JR., J. A. *et al.* **Forest Mensuration**. 5. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd Registered, 2017.

KÖHL, M.; MAGNUSSEN, M.; MARCHETTI, M. **Tropical Forestry: Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory**, Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, 373p.

LATIFI, H.; HEURICH, M. Multi-Scale Remote Sensing-Assisted Forest Inventory: A Glimpse of the State-of-the-Art and Future Prospects. **Remote Sensing**. 2019; 11(11):1260. <https://doi.org/10.3390/rs11111260>. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/11/1260>.

- LIM, K. *et al.* LIDAR remote sensing of forest structure. **Progress in Physical Geography**. 27. 88-106. 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/232181349\\_LIDAR\\_remote\\_sensing\\_of\\_forest\\_structure](https://www.researchgate.net/publication/232181349_LIDAR_remote_sensing_of_forest_structure). Acesso em: 20 fev. 2022.
- MESSINGER, M.; ASNER, G. P.; SILMAN, M. Rapid assessments of amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. **Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 1–15, 2016.
- MORALES, G. *et al.* Automatic segmentation of mauritia flexuosa in unmanned aerial vehicle (UAV) imagery using deep learning. **Forests** 9, 736. 2018.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. 1. ed. Curitiba: os autores, 1997.
- PRODAN, M. **Forest biometrics**. Oxford: Pergamon Press, 1968.
- PULITI, S. *et al.* Inventory of small forest areas using an Unmanned Aerial System. **Remote Sensing**, v. 7, n. 8, p. 9632–9654, 2015
- RUZA, M. S. *et al.* Inventário de Sobrevivência de povoamento de Eucalyptus com uso de Redes Neurais Artificiais em Fotografias obtidas por VANTs. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 4, p. 83–88, 2017.
- SANQUETTA, C. R. *et al.* **Inventários Florestais: planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e editora, 2014.
- SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. **Inventário Florestal**. Lavras: Gráfica Universitária UFLA, 2006.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. DE P.; SOUZA, A. L. DE. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011.
- TÄLL, K. **Accuracy of mobile forest inventory application KATAM Forest – Evaluation of accuracy in different forest types and comparison to conventional inventory methods**. 2020. 55 f. Master thesis in Forest Science. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp, 2020.
- WEST, P. W. **Tree and Forest Measurement**. New York: Springer, 2015.
- WHITE, J. C. *et al.* Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 619–641, 2016.
- WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; WILKINSON, B. E. **Elements of photogrammetry with application in GIS**. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

## APÊNDICE 1 – RECOMENDAÇÕES DA KATAM QUANTO AOS PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A solução KATAM™ Forest é capaz de mensurar variáveis dendrométricas através de vídeos gravados dentro do aplicativo, com base em tecnologias como IA, RA e visão computacional, utilizando os vários ângulos capturados de cada árvore para sua identificação e mensuração. Dentro do aplicativo, os dados coletados são organizados em propriedades florestais, que abrigam talhões e, dentro deles, unidades amostrais, onde cada vídeo gravado no aplicativo corresponde a uma unidade amostral. A recomendação da empresa é que cada vídeo tenha duração de 60 a 90 segundos, buscando maior agilidade no processamento subsequente. Com isso, tem-se unidades amostrais de área variável, visto que a área coberta em determinado tempo dependerá do ritmo de caminhamento e das condições de visibilidade em função do sub-bosque. Segundo a empresa, as parcelas gravadas respeitando o tempo de vídeo recomendado podem variar de 300 a 1000 m<sup>2</sup>.

Para o processamento dos vídeos gravados não é necessário nenhum tipo de conexão, seja com internet ou sinal de celular. Portanto, é possível processar vídeos ainda dentro da floresta, obtendo uma informação rápida sobre as principais variáveis de interesse. Contudo, como o hardware utilizado é um celular convencional, a empresa não recomenda o processamento em campo de todos os vídeos gravados, em função do gasto de bateria do smartphone, principalmente se não houver meios de carregar ainda em campo. O processamento de parte dos vídeos *in loco* é recomendado para obtenção de feedback e informações imediatas.

Quanto aos procedimentos de amostragem, é possível realizar uma abordagem sistemática ou aleatória na distribuição das parcelas. A KATAM não recomenda que as parcelas sejam previamente sorteadas em plataformas SIG e posteriormente localizadas em campo utilizando GPS, visto que neste caso seria empregado um tempo desnecessário de deslocamento para chegar aos locais preestabelecidos para as unidades amostrais. Como para a mensuração com KATAM™ Forest basta caminhar pelas linhas gravando pequenos vídeos, o tempo de deslocamento pode ser facilmente utilizado para mensuração, aumentando a intensidade amostral do inventário. Com isso, a recomendação é estabelecer uma forma de caminhamento pelo talhão buscando distribuir as unidades amostrais ao



longo de toda a área, contemplando a variância da população através da alta taxa de cobertura da amostragem, seja de forma aleatória ou sistemática.

Com relação à gravação dos vídeos, algumas recomendações devem ser respeitadas para obtenção de dados de maior qualidade e para melhor performance da tecnologia, sendo as seguintes:

- O smartphone deve ser segurado em orientação paisagem, apontado para a linha de árvores a frente do operador, que caminhará em linha reta de forma paralela às linhas de plantio;

Deve-se evitar ao máximo gravar os vídeos contra a luz do sol, visto que a interferência das réstias prejudica o desempenho da tecnologia;

- A base das árvores da primeira linha deve aparecer no vídeo para a correta identificação da altura de 1,30 metros para obtenção do dap e a linha do horizonte deve ser posicionada no terço superior da tela para o melhor enquadramento possível das árvores, conforme indica a linha amarela na FIGURA 15;

FIGURA 15 – ENQUADRAMENTO RECOMENDADO PARA GRAVAÇÃO DE VÍDEO COM KATAM™ Forest



FONTE: O autor (2022).

- No início e no final de cada vídeo deve-se contornar a primeira e a última árvore, buscando mais ângulos das mesmas para facilitar a identificação e mensuração;
- Deve-se evitar a obstrução completa da câmera durante os vídeos, seja por uma árvore ou por elementos do sub-bosque.

Quanto à obtenção de imagens aéreas para a solução KATAM™ TreeMap, a KATAM fornece um guia para as configurações do plano de voo para a resolução desejada das imagens.

# ANEXO 1 – RELATÓRIO KATAM PARA O TALHÃO DE *P. taeda* - LEONEL

Extended Report - 2022-04-08



## Stand Leonel - Pinus

**Coordinates**  
-26.3664, -49.8157

**Area**  
19.9 ha

**Species**  
Pinus Taeda

	Ground	Air
<b>Tree height</b>	No data	22 m
<b>Tree density</b>	548 #/ha	524 #/ha
<b>Tree diameter (dg)</b>	27.7 cm	No data

Avg. Tree volume      **0.4785 m<sup>3</sup>**

Forest volume         **251 m<sup>3</sup>/ha**

Stand volume            **5005 m<sup>3</sup>**

### Tree Height

Data from air



### Tree density

Data from air



### Tree Diameter

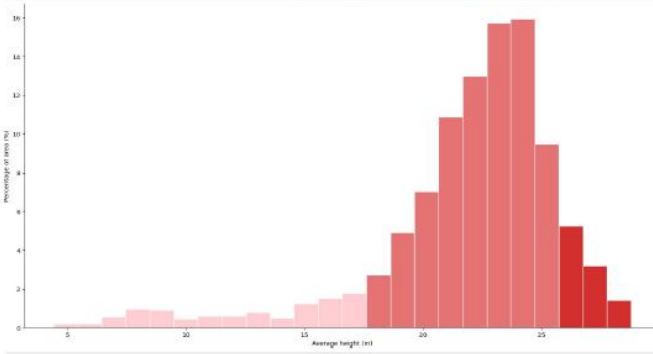
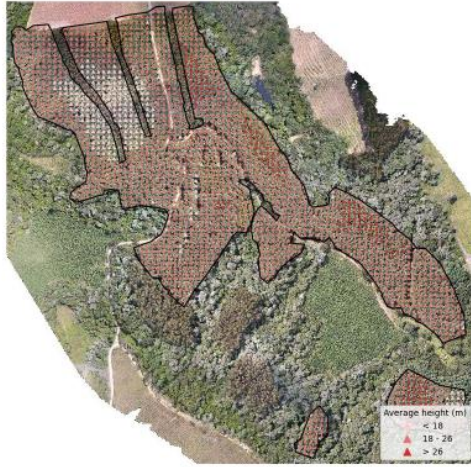
Data from ground



Da: 27.0      Dgv: 29.7      Diameter sample: 659 trees

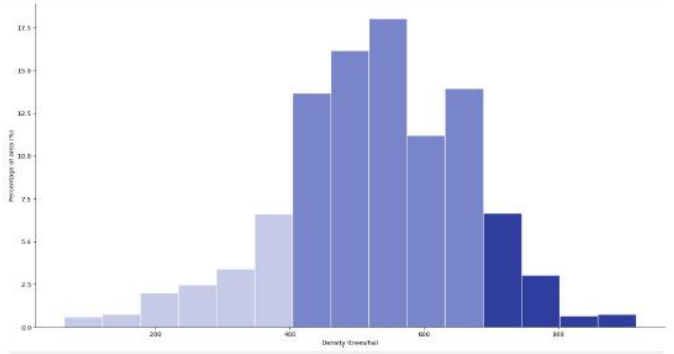
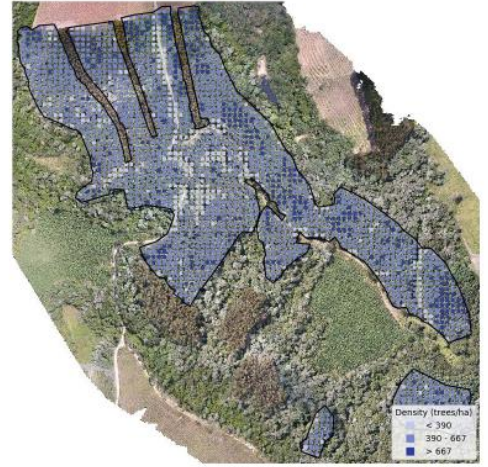
### Stand Leonel - Pinus

▮ Tree height



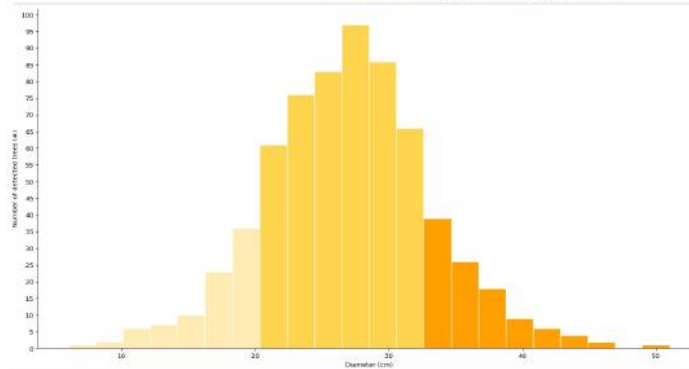
### Stand Leonel - Pinus

▮ Tree density



### Stand Leonel - Pinus

○ Tree diameter



Std dev Da: 6.2 cm

## ANEXO 2 – RELATÓRIO KATAM PARA O TALHÃO DE *E. dunnii* - VILA GREIN

Extended Report - 2022-04-08



### Vila Grein - Eucalyptus

Coordinates

-26.2614, -49.7979

Area

12.9 ha

Species

Eucalyptus

	Ground	Air
Tree height	No data	21 m
Tree density	620 #/ha	645 #/ha
Tree diameter (dg)	17.7 cm	No data

Avg. Tree volume **0.2378 m<sup>3</sup>**

Forest volume **153 m<sup>3</sup>/ha**

Stand volume **1977 m<sup>3</sup>**

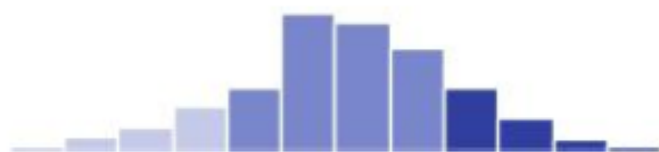
#### Tree Height

Data from air



#### Tree density

Data from air



#### Tree Diameter

Data from ground



Da: 16.6

Dgv: 21.9

Diameter sample: 703 trees

Extended Report - 2022-04-08

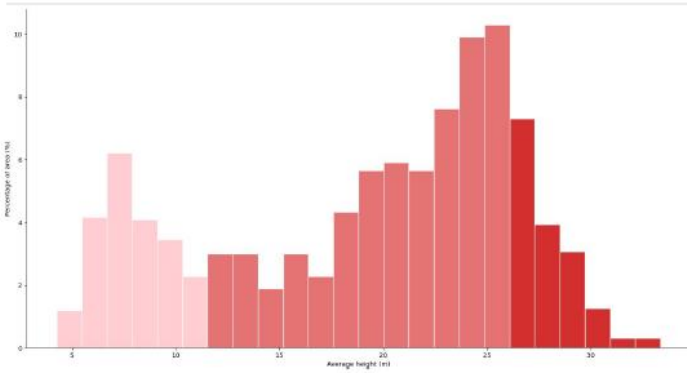
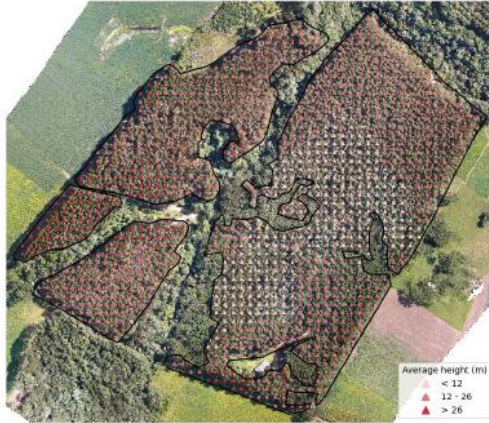


Extended Report - 2022-04-08



### Vila Grein - Eucalyptus

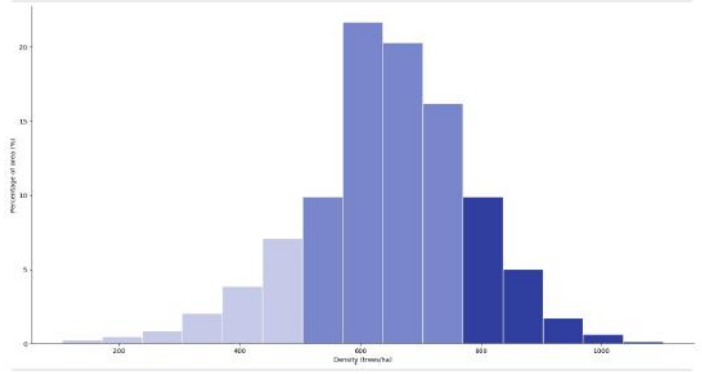
|| Tree height



Extended Report - 2021-04-08

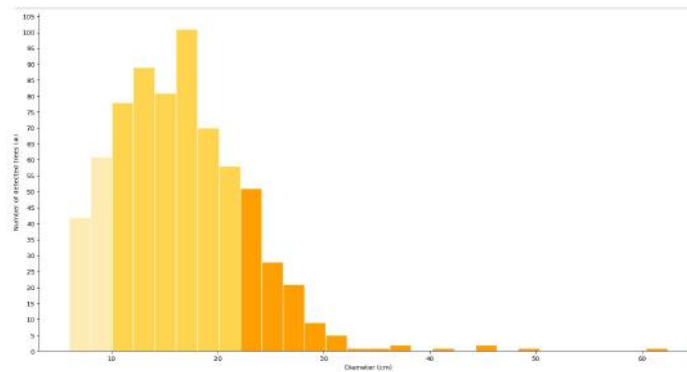
### Vila Grein - Eucalyptus

⋮ Tree density



### Vila Grein - Eucalyptus

○ Tree diameter



Std dev Da: 6.4 cm