



**FERNANDO VILAS BOAS DE SOUSA**

**ANÁLISES ESPACIAIS APLICADAS AO PLANEJAMENTO  
FLORESTAL**

**LAVRAS-MG  
2019**

**FERNANDO VILAS BOAS DE SOUSA**

**ANÁLISES ESPACIAIS APLICADAS AO PLANEJAMENTO FLORESTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal, para  
a obtenção do título de Bacharel.

Dra. Thiza Falqueto Altoé

Orientadora

**LAVRAS-MG**

**2019**

**FERNANDO VILAS BOAS DE SOUSA**

**ANÁLISES ESPACIAIS APLICADAS AO PLANEJAMENTO FLORESTAL**

**SPATIAL ANALYSIS APPLIED TO FOREST PLANNING**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal, para  
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 18 de junho de 2019  
Dr. Lucas Amaral de Melo UFLA  
Dra. Thiza Falqueto Altoé UFLA  
Ma. Carla Talita Pertille KLABIN S.A.

Dra. Thiza Falqueto Altoé  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2019**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar uma série de interpoladores espaciais em um sistema de informações geográficas para a espacialização das variáveis de interesse florestal: dados de elevação, informações de volume e densidade básica da madeira com o intuito de trazer melhorias ao planejamento florestal. A ferramenta de interpolação “Topo to Raster” foi utilizada para obtenção da elevação da área de estudo a partir das curvas de nível. Os dados de elevação foram utilizados para confeccionar um mapa de aptidão à mecanização, quantificando as áreas mecanizáveis quando se trata de prospecção de novas áreas. Para confecção do mapa de recomendação de preparo do solo foi utilizada a krigagem ordinária, método geoestatístico, para interpolação dos dados de elevação nos locais não amostrados e para posterior cálculo da declividade do terreno. O método foi auto validado e avaliado através de parâmetros estatísticos como: Erro médio, Erro Quadrático Médio e Média dos Erros Padronizados. Logo após a validação, foi feita uma classificação definindo a conduta para realização do preparo em cada área da fazenda. Para o processo de estratificação, utilizou-se a interpolação espacial pelo Inverso do Quadrado da Distância, onde espacializou-se a variável volume gerando estratos para redução do erro associado ao processamento do inventário, essa redução foi comprovada através da comparação do Erro (%) do processamento pela Amostragem Casual Simples e Amostragem Casual Estratificada. Para destacar um método capaz de espacializar a densidade básica da madeira, foram comparados três métodos de espacialização: IQD, Spline Tensionado e Spline Regularizado, analisando o Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio, Raiz Quadrada do Erro Relativo Médio associados a cada método. O “*Topo to Raster*” foi capaz de estimar valores de elevação a partir das curvas de nível possibilitando a quantificação das áreas mecanizáveis em áreas de prospecções. A krigagem ordinária obteve valores precisos ao estimar dados de elevação para confecção do mapa de recomendação de preparo do solo, sendo possível classificar a área quanto à conduta ideal para o preparo do solo. A estratificação da fazenda promoveu uma redução no erro do inventário de 16,87% para 6,64% (aproximadamente 10%) indicando que a fonte de estratificação utilizada foi eficiente. Como resultados, verificou-se que através da validação cruzada foi possível definir o método com melhor capacidade preditiva na espacialização da densidade básica da madeira, sendo que o método Spline Regularizado apresentou o menor erro (-1,7%). Pode-se concluir que os interpoladores espaciais possuem capacidade preditiva confiável, podendo ser utilizados como ferramentas para melhoria do planejamento florestal.

**Palavras-chave:** Geoestatística. Inverso do Quadrado da Distância. Krigagem.Spline.Interpoladores.

## ABSTRACT

The objective of this work was to use a series of spatial interpolators in a geographic information system for the spatialization of variables of forest interest: elevation data, volume information and basic wood density in order to bring improvements to forest planning. The "Top to Raster" interpolation tool was used to obtain the elevation of the study area from the contour curves. The elevation data were used to make a map of aptitude to mechanization, quantifying the mechanizable areas when it comes to prospecting new areas. To prepare the soil preparation recommendation map, ordinary kriging, geostatistical method, was used to interpolate the elevation data at the non-sampled sites and to later calculate the slope of the terrain. The method was auto-validated and evaluated through statistical parameters such as: Mean error, Mean Square Error and Mean of Standard errors. Soon after the validation, a classification was made defining the conduct to carry out the preparation in each area of the farm. For the stratification process, the spatial interpolation was used by the Inverse of the Distance Square, where the variable volume was spatialized, generating strata to reduce the error associated to the inventory processing, this reduction was proved by comparing the Error (%) of processing by Simple Casual Sampling and Stratified Casual Sampling. In order to highlight a method capable of spatializing the basic density of wood, three spatialization methods were compared: IQD, Tensed Spline and Regularized Spline, analyzing the Mean Absolute Error, Mean Relative Error, Mean Relative Error Square Root associated with each method. The "Top to Raster" was able to estimate elevation values from the contour lines allowing the quantification of the mechanizable areas in prospecting areas. Ordinary kriging obtained precise values when estimating elevation data for the preparation of the soil preparation recommendation map, and it is possible to classify the area as the ideal conduit for soil preparation. The stratification of the farm promoted a reduction in inventory error from 16.87% to 6.64% (approximately 10%), indicating that the stratification source used was efficient. As results, it was verified that through the cross-validation it was possible to define the method with the best predictive capacity in the spatialisation of the basic wood density, with the Spline Regularized method presenting the smallest error (-1.7%). It can be concluded that spatial interpolators have reliable predictive capacity and can be used as tools to improve forest planning.

Keywords: Geostatistics. Inverse of the Square of Distance. Krigagem.Spline.interpolators.

## SUMÁRIO

1	IDENTIFICAÇÃO DO ESTAGIÁRIO.....	7
2	INTRODUÇÃO .....	8
3	OBJETIVOS .....	9
3.1	Objetivo principal.....	9
3.1.1	Objetivos específicos.....	9
4	DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL DE ESTÁGIO .....	10
4.1	Histórico .....	10
4.2	Área de atuação e atividades desenvolvidas.....	10
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
5.1	Cenário florestal .....	12
5.2	Principais segmentos consumidores de madeira.....	14
5.2.1	Papéis para embalagens .....	15
5.3	Planejamento florestal.....	16
5.4	Ferramentas de apoio ao planejamento florestal .....	18
6	MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
6.1	Áreas de estudo .....	20
6.1.1	Fazenda Laranjeira .....	21
6.1.2	Fazenda Cambará.....	21
6.1.3	Fazenda Cerro Pelado II.....	21
6.1.4	Fazenda Rio Bonito .....	21
6.2	Aptidão à mecanização.....	22
6.2.1	<i>Topo to raster</i> .....	23
6.3	Recomendação de preparo do solo.....	24
6.3.1	Geoestatística .....	25
6.3.2	Processamento dos dados de elevação .....	28
6.4	Interpolação espacial para estratificação no inventário florestal .....	29
6.4.1	Obtenção e preparo de dados .....	29
6.4.2	Estratificador utilizado .....	29
6.4.3	Obtenção dos estratos.....	30
6.4.4	Processamento do inventário florestal.....	30
6.5	Espacialização da densidade básica da madeira.....	32
6.5.1	Preparo da base de dados .....	32
6.5.2	Análise exploratória dos dados.....	32
6.5.3	Métodos de espacialização .....	33
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
7.1	Aptidão à mecanização.....	38
7.2	Recomendação de preparo do solo.....	40
7.2.1	Análise exploratória dos dados de elevação .....	40
7.2.2	Análise geoestatística .....	41
7.2.3	Cálculo da declividade e confecção do mapa de recomendação de preparo do solo .....	43
7.3	Interpolação espacial para estratificação no inventário florestal .....	45
7.3.1	Processamento do inventário - amostragem casual simples .....	45
7.4	Espacialização da densidade básica da madeira.....	46
7.4.1	Análise exploratória dos dados.....	46
7.4.2	Métodos de espacialização .....	48
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51

<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>

## **1 IDENTIFICAÇÃO DO ESTAGIÁRIO**

Nome: Fernando Vilas Boas de Sousa

Área de Estágio: Planejamento Florestal/ Sistema de Informações Geográficas

Empresa: Klabin S.A

Endereço: Avenida Olinkraft, 6602 – Bairro Igaras – 85540000 – Otacílio Costa/ SC

Supervisora do Estágio: Maribenta Nunes Machado

Orientadora: Thiza Falqueto Altoé

Carga Horária: 1952 horas

Período de Estágio: 14/02/2018 a 31/01/2019



## 2 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um conjunto de características únicas de produção florestal, com a segunda maior cobertura de florestas do mundo (58% do seu território, incluindo florestas plantadas e nativas) ficando atrás apenas da Rússia (SNIF, 2017). Em termos de áreas plantadas o país possui 7,84 milhões de hectares, nas quais os principais gêneros cultivados são o *Pinus* e o *Eucalyptus*.

No âmbito nacional, a Indústria Brasileira de Árvores apontou os estados de Santa Catarina e Paraná como os estados que possuem maiores áreas plantadas com *Pinus spp* (IBÁ,2017). O estado de Santa Catarina possui a segunda maior área do Brasil com plantio de pinus, totalizando 34% do total de 1,6 milhões de hectares. O estado conta com várias empresas do setor florestal que consomem e produzem produtos para serraria, celulose, laminação e vários outros usos (IBÁ,2017).

Devido ao grande aumento da demanda por madeira para a produção de celulose, houve a necessidade de um aumento das áreas florestais plantadas, o que influenciou as empresas do ramo florestal a investirem em tecnologias e ferramentas que auxiliem no planejamento das operações (SIMÕES, 2008).

É de suma importância para qualquer negócio florestal, implementado ou conduzido, a geração de informações confiáveis e precisas, capazes de amparar o processo decisivo (RODRIGUES, 2001). Para o planejamento florestal, um dos maiores desafios é a elaboração de planos que possam ser moldados à execução, ou seja, aplicabilidade prática (WERNEBURG, 2015).

A aplicação de métodos computacionais tornou-se uma grande alternativa para reduzir os custos e otimizar as operações florestais. A utilização de um sistema de informações geográficas permite executar uma série de análises no contexto espacial, possibilitando a interpolação de variáveis de interesse florestal, criando relatórios e mapas que contribuem para melhorar o processo decisório no planejamento florestal (RIBEIRO, 2002).

Apesar de haver várias técnicas de espacialização de dados e do SIG já estar presente no cotidiano das empresas florestais, sua utilização costuma ser muito específica e há uma lacuna a ser explorada no que tange as potencialidades de aplicação desses recursos em todo o planejamento da empresa, desde a aquisição de novas áreas até mesmo na definição de maquinários apropriados para a colheita florestal em diferentes condições topográficas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo principal**

Utilizar uma série de interpoladores espaciais para a espacialização de variáveis de interesse florestal (elevação do terreno, volume e densidade básica da madeira) por meio de um Sistema de Informações Geográficas para melhorias do planejamento florestal.

##### **3.1.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos podem ser divididos em:

- a) confeccionar mapas de aptidão à mecanização a partir de dados interpolados de elevação e quantificação das áreas mecanizáveis em prospecção de novas áreas;
- b) elaborar um mapa de recomendação de preparo do solo por meio de interpolação espacial de dados de elevação utilizando técnicas geoestatísticas, definindo classes de declividade e a respectiva conduta de preparo do solo para cada classe, visando maior conservação do solo;
- c) estratificar um povoamento florestal utilizando o interpolador espacial Inverso do Quadrado da Distância para geração de estratos com base no volume por hectare;
- d) especializar a densidade básica da madeira em um povoamento de *Pinus taeda* utilizando diferentes métodos de interpolação.

## 4 DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL DE ESTÁGIO

### 4.1 Histórico

No ano de 1989 nascia a primeira indústria que levou o nome de Klabin associado ao papel – Klabin Irmãos e Cia (KIC), empresa que importava produtos de papelaria e produzia artigos para escritório. Após 15 anos, inicia-se a produção de papel com o funcionamento da Companhia Fabricadora de Papel, com a aquisição de sua primeira fazenda localizada em Monte Alegre no Paraná, onde foi construída a primeira fábrica integrada de papel e celulose do Brasil, chamada Indústrias Klabin do Paraná de Celulose (KLABIN, 2018)

Atualmente, a Klabin é a maior produtora e exportadora de papéis do Brasil, possuindo 18 unidades industriais (17 no Brasil e uma na Argentina). A Klabin é líder na produção de papéis e cartões para embalagem, embalagens de papelão ondulado, sacos industriais e madeira em toras.

Fragmenta-se em quatro áreas de negócios: florestal, celulose, papéis e conversão. O negócio florestal é responsável por fornecer matéria prima para produção e também pelo comércio de toras de madeira. A produção de celulose de fibra curta, fibra longa e *fluff*, matéria prima para fabricação dos papéis é de responsabilidade da área de celulose. No negócio de papéis, destacam-se os seguintes produtos: papel kraft, papel cartão e papel reciclado. O desenvolvimento e comercialização de embalagens de papelão ondulado e sacos industriais fica a cargo da área de conversão.

A Klabin Florestal Santa Catarina administra, atualmente, uma área de 138.867,53 ha, espalhada em 40 municípios do estado, tendo o Polo de Desenvolvimento Social e Econômico em Lages. As áreas de preservação somam 68.167,27 ha correspondendo 50,17% do Patrimônio Florestal, já a área útil, totaliza 60.360,47 ha composta por *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*.

### 4.2 Área de atuação e atividades desenvolvidas

Dentro do setor florestal da Unidade de Otacílio Costa existem oito áreas de administração: Pesquisa e Desenvolvimento, Planejamento, Silvicultura, Colheita, Comercialização e Abastecimento, Qualidade e Ambiente e Pool Administrativo. O presente estágio foi realizado na área de Planejamento Florestal, subárea de Sistema de Informações Geográficas – SIG.

Durante o período de estágio foram realizadas atividades que compõem esse trabalho de conclusão de curso e cada análise foi desenvolvida conforme demandas da empresa.

Realizou-se a confecção de mapas de aptidão à mecanização, mapas de recomendação de preparo do solo, estratificação no inventário florestal e espacialização da densidade básica da madeira através de interpoladores espaciais, os quais estão descritos neste trabalho de conclusão de curso.

Outras atividades foram realizadas durante o estágio que compõem o cotidiano do setor, tais como: mapas de apoio a diversas áreas, mapas de microplanejamento da colheita, macroplanejamento da colheita, mapa de locação de parcelas para o inventário, mapeamento do uso do solo, cálculo de distâncias e mapas de localização.

Também foi desenvolvida uma análise socioambiental de alguns plantios que avalia o quão próximo uma determinada fazenda está de unidades de conservação, sítios arqueológicos, assentamentos do INCRA, comunidades quilombolas e terras indígenas, tal trabalho oferece informações para prospecções de novas áreas.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Cenário florestal

Segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2015), as florestas plantadas no mundo tiveram um aumento anual de aproximadamente 4,73 milhões de hectares para fins variados, porém estima-se que 76% dessas florestas têm foco na produção florestal.

Dentre os países que possuem a maior cobertura de florestas plantadas no mundo estão a China, Estados Unidos e Rússia, resultando em mais de 41% do total das áreas (Tabela 1).

Tabela 1 – Evolução das florestas plantadas no mundo.

País	Área de Florestas Plantadas (1000ha)					Participação na Área Global (%)		TGM(a.a.)
	1990	2000	2005	2010	2015	1990	2015	(90-15)
China	41950	54394	67219	73067	78982	23,82%	27,27%	2,60%
Estados Unidos	17938	22560	24425	25564	26364	10,19%	9,10%	1,60%
Rússia	12651	15360	16963	19613	19841	7,18%	6,85%	1,80%
Canadá	4578	9345	11710	13975	15784	2,60%	5,45%	5,10%
Suécia	7399	9839	11099	12564	13737	4,20%	4,74%	2,50%
Índia	5716	7167	9486	11139	12031	3,25%	4,15%	3,00%
Japão	10287	10331	10324	10292	10270	5,84%	3,55%	0,00%
Polônia	8511	8645	8767	8877	8957	4,83%	3,09%	0,20%
Brasil	4984	5176	5620	6973	7736	2,83%	2,67%	1,80%
Finlândia	4390	4953	5901	6775	6775	2,49%	2,34%	1,80%
Sudão	5424	5639	5854	5940	6121	3,08%	2,11%	0,50%
Alemanha	5388	5416	5278	5290	5295	3,06%	1,83%	-0,10%
Outros	46902	59431	67830	77126	77706	26,63%	26,83%	2,00%
<b>Total</b>	<b>171332</b>	<b>214619</b>	<b>242960</b>	<b>264001</b>	<b>289599</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>2,1</b>

Legenda: TGM: Taxa Geométrica Média e a.a.: ao ano.

Fonte: Global Forest Resources Assessment – FAO (2015).

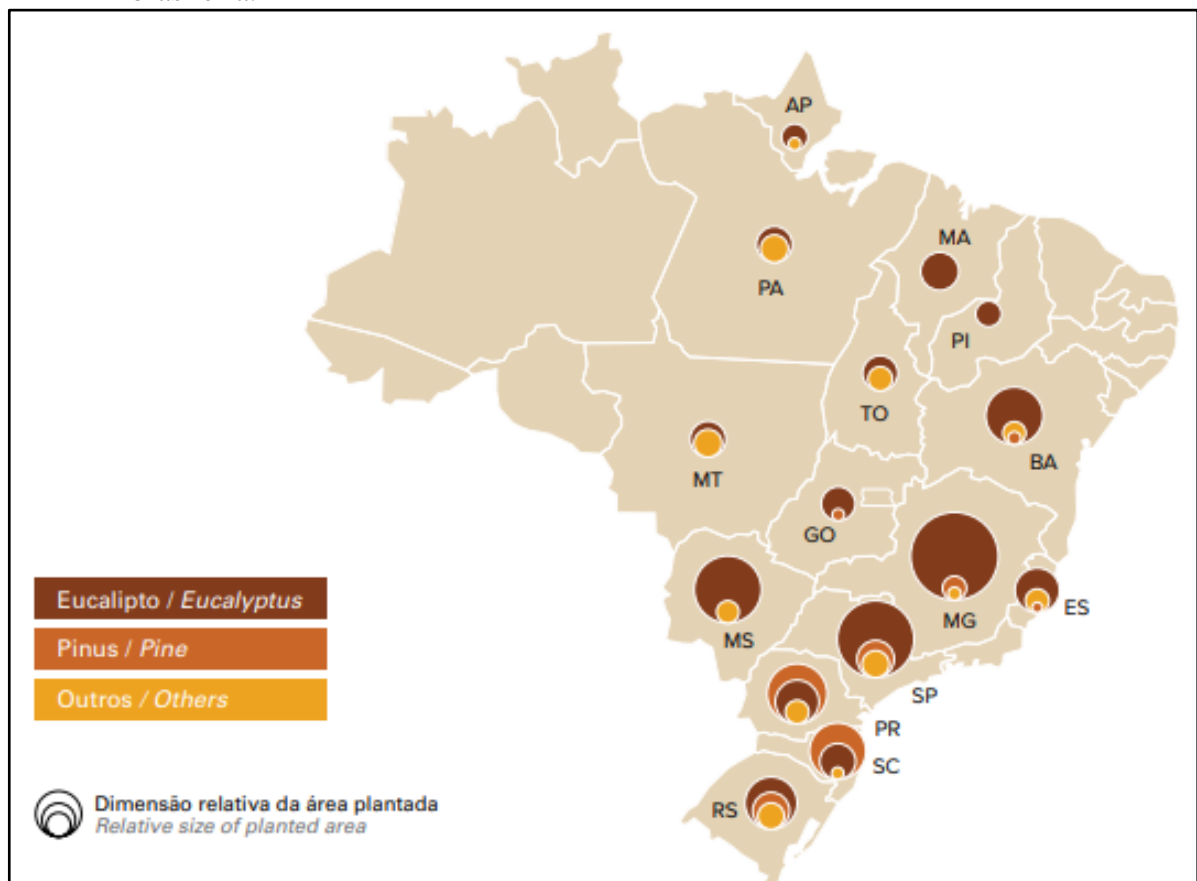
Com uma taxa geométrica média (TGM) anual de 1,8%, o Brasil tem aumentado a área de florestas plantadas, ocupando a nona posição de áreas florestais plantadas, correspondendo a 3% dos plantios do mundo (FAO, 2015).

O setor brasileiro de florestas plantadas conta com uma área de 7,84 milhões de hectares, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, sendo 91% dessa madeira

produzida para fins industriais e 6,2% do PIB industrial no país (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2017).

Com 5,7 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, os plantios de eucalipto estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%), correspondendo a uma taxa de crescimento em área de 2,4% a.a nos últimos cinco anos. As áreas plantadas com pinus correspondem a 1,6 milhões de hectares e localizam-se, principalmente, no estado do Paraná (42%) e Santa Catarina (34%) (IBÁ, 2017), conforme pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 –Área de florestas plantadas de *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp por estado da federação brasileira.



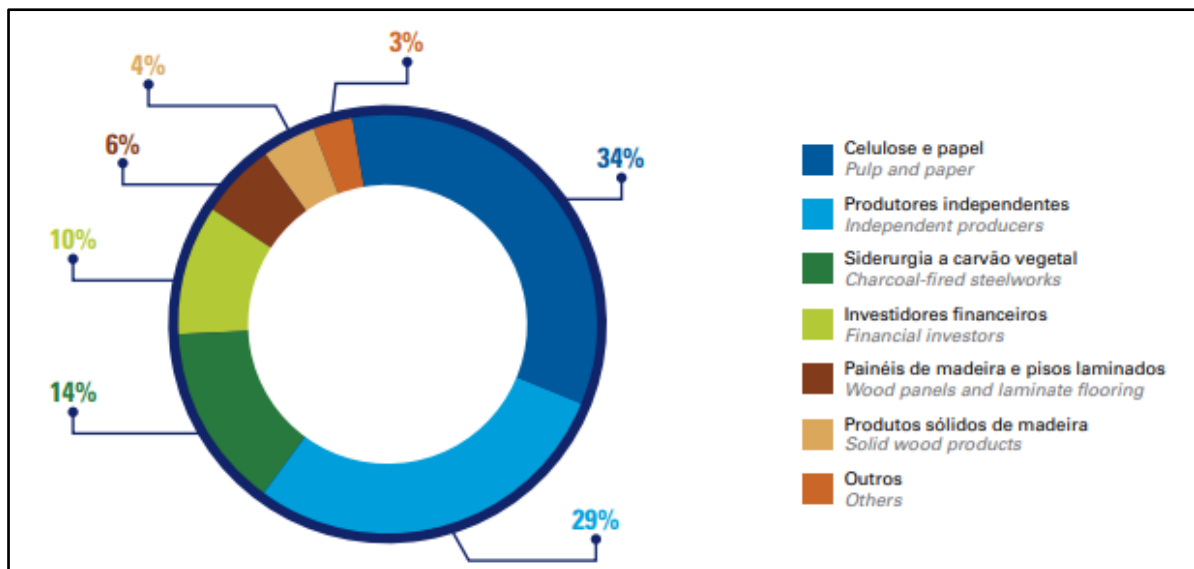
Fonte: IBÁ (2017).

Os plantios de pinus no Brasil vêm crescendo e tornando-se economicamente viável por apresentar capacidade em crescimento e produção nos mais variados tipos de ambientes, possuindo grande gama de usos de sua madeira. No ano de 2016 o Brasil liderou o ranking global de produtividade de pinus com uma média de 30,5 m<sup>3</sup>/ha, segundo informações das principais empresas do setor (IBÁ, 2017).

## 5.2 Principais segmentos consumidores de madeira

Em análise da área total de florestas plantadas (7,84 milhões de ha) cerca de 34% é destinada a empresas do segmento de celulose e papel seguido de proprietários independentes e pequenos e médios produtores com base no programa de fomento florestal. Ocupando a terceira posição está o segmento de energia, responsável por 14% da área plantada conforme mostra a Figura 2.

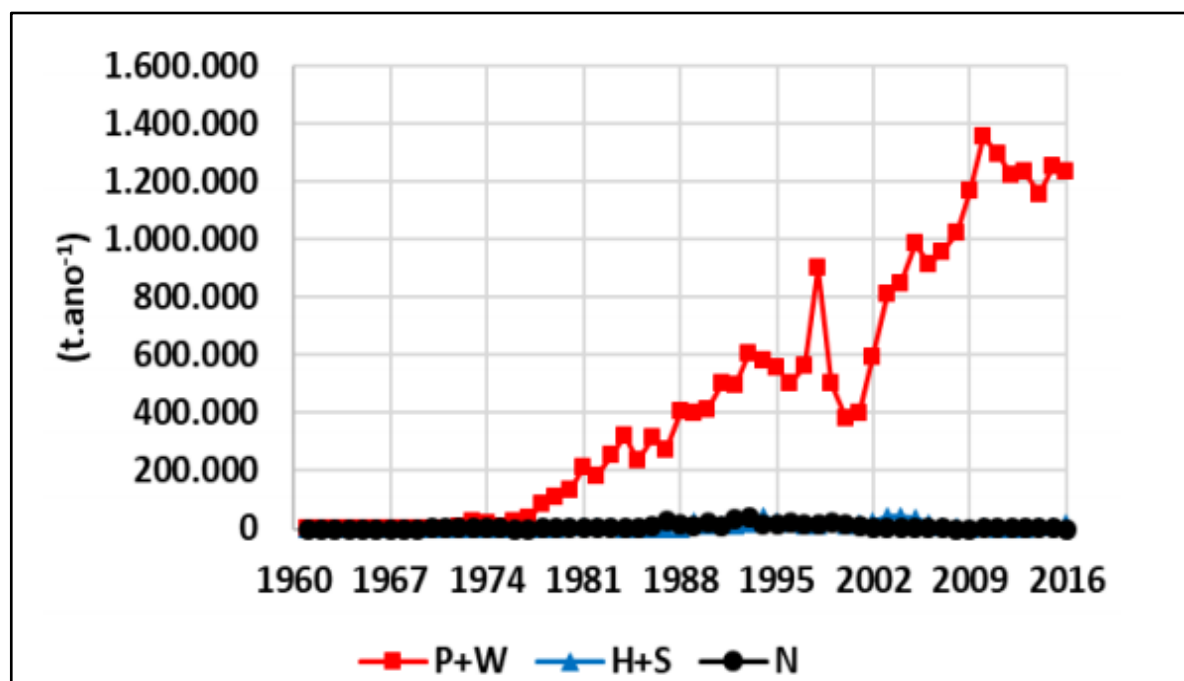
Figura 2 – Áreas plantadas por tipo de consumidores.



Fonte: IBÁ (2017).

O segmento de papel e celulose apresentou um crescimento considerável nas últimas décadas devido à criação de empresas de grande porte em pontos estratégicos e pelo aumento significativo do volume de celulose produzido e exportado. Uma quantidade considerável na celulose produzida no Brasil destina-se a exportação, cerca de 67% , conforme informado por Marques (2015) (Figura 3).

Figura 3 - Exportação de papéis no Brasil entre 1961 e 2016.



Legenda: P+W: papéis de imprimir e escrever, H+S: papéis de uso doméstico e sanitário, N: papel jornal.

Fonte: adaptado da FAO (2015).

### 5.2.1 Papéis para embalagens

Os papéis para embalagens (papel ondulado e papel-cartão) são considerados os mais consumidos do mundo, cerca de 200 milhões de toneladas por ano, esse produto tem mostrado um crescimento compatível com a demanda devido à forte correlação entre o desenvolvimento econômico e o comércio internacional (BNDES, 2018). Segundo estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores, do primeiro trimestre de 2019, a produção de papéis para embalagens lidera o ranking dos produtos advindos do papel, conforme a Tabela 2.

O Brasil possui poucas empresas no setor que integram seu processo produtivo desde a produção da matéria prima (florestas) até o produto final (papéis para embalagens), dentre as fábricas existentes pode-se citar a Klabin S.A. e a Rigesa. Na produção de papel-cartão o Brasil tem algumas das fábricas mais eficientes do mundo, a Klabin em Tetrapark ou longa vida (BNDES, 2018).



Tabela 2 – Dados de produção de produtos oriundos do papel (1000 toneladas).

Papel	Março			Janeiro - Março		
	2018	2019/1	Var. %	2018	2019/1	Var. %
<b>Produção</b>	899	906	0,8	2.582	2.566	-0,6
Embalagem	464	471	1,5	1.369	1.336	-2,4
Imprimir e escrever	210	212	1,0	606	599	-1,2
Imprensa	9	2	-77,8	25	13	-48,0
Fins sanitários	107	113	5,6	291	324	11,3
Papel cartão	67	70	4,5	170	177	4,1
Outros	42	38	-9,5	121	117	-3,3
<b>Vendas Domésticas</b>	464	462	-0,4	1.315	1.300	-1,1
Embalagem	148	145	-2,0	442	433	-2,0
Imprimir e escrever	122	117	-4,1	341	316	-7,3
Imprensa	6	3	-50,0	17	9	-47,1
Fins sanitários	106	111	4,7	287	319	11,1
Papel cartão	47	55	17,0	127	131	3,1
Outros	35	31	-11,4	101	92	-8,9
<b>Exportações</b>	186	172	-7,5	511	500	-2,2
Embalagem	52	47	-9,6	160	149	-6,9
Imprimir e escrever	87	83	-4,6	233	228	-2,1
Imprensa	2	2	0,0	5	5	0,0
Fins sanitários	2	3	50,0	6	8	33,3
Papel cartão	20	16	-20,0	43	46	7,0
Outros	23	21	-8,7	64	64	0,0
<b>Importações</b>	66	46	-30,3	193	157	-18,7
Embalagem	5	4	-20,0	13	10	-23,1
Imprimir e escrever	22	21	-4,5	74	65	-12,2
Imprensa	13	2	-84,6	34	17	-50,0
Fins sanitários	0	0	0	1	1	0,0
Papel cartão	6	3	-50,0	14	12	-14,3
Outros	20	16	-20,0	57	52	-8,8
<b>Consumo Aparente</b>	779	780	0,1	2.264	2.223	-1,8

Fonte: IBÁ (2019).

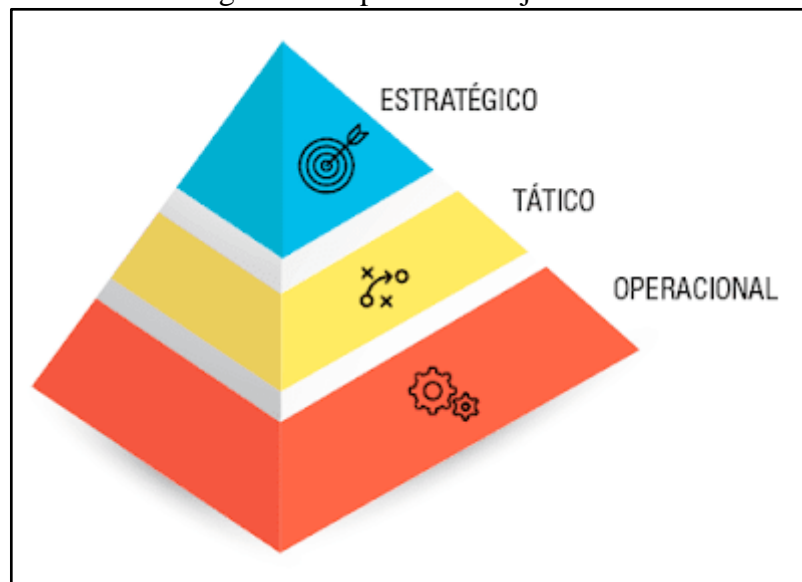
### 5.3 Planejamento florestal

O Planejamento Florestal tem como principal objetivo a otimização da alocação de fatores de produção, indicando a melhor forma de usar os recursos florestais, maximizando o bem-estar e as utilidades da floresta para com o seu proprietário, além de fornecer subsídios para a tomada de decisões nas operações florestais (PUKKALA, 2013).

O Planejamento Florestal pode ser dividido em três diferentes tipos: Planejamento estratégico, desenvolvido por gestores de mais alto nível organizacional que definem objetivos de longo prazo e seus efeitos e consequências durante vários anos (CHIAVENATO,

2005); Planejamento Tático, tem como principal objetivo a otimização dos recursos disponíveis para alcance dos objetivos visando determinadas áreas, no qual se enquadra o presente trabalho, desenvolvido pelos níveis intermediários das empresas (OLIVEIRA, 2009); Planejamento Operacional, com objetivo de atender às atividades rotineiras, tratam de cronogramas, deveres específicos e alvos mensuráveis e é elaborado e desenvolvido por níveis inferiores na organização. O trabalho em harmonia e sinergia entre os tipos de planejamentos são fundamentais para o cumprimento dos objetivos e podem ser representados como uma pirâmide (Figura 4) no meio organizacional (MONTANA; CHARNOV, 2010).

Figura 4 – Tipos de Planejamento.



Fonte: Jorgenca (2019).

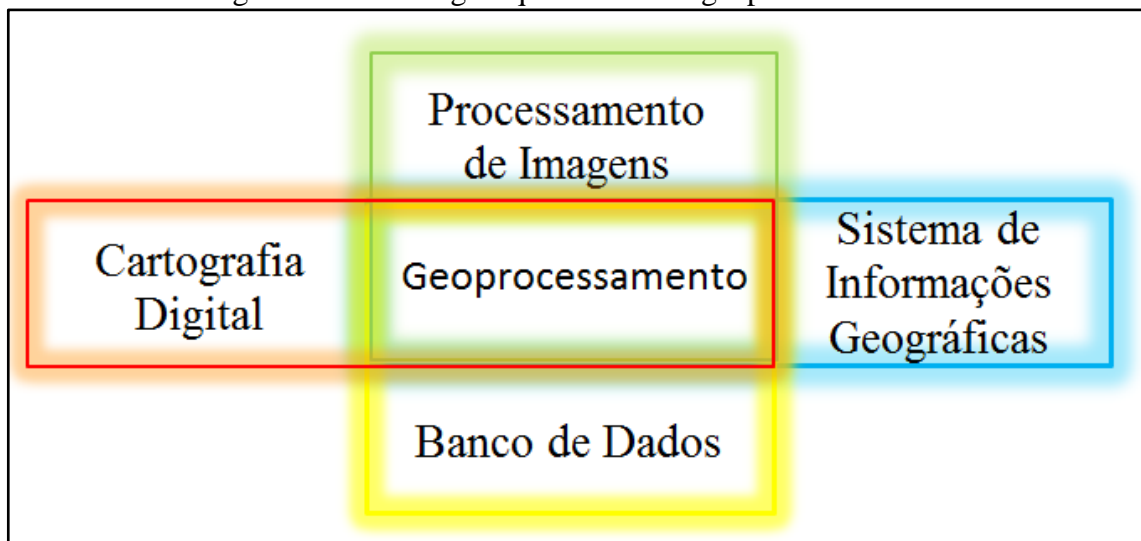
Segundo Diaz-Balteiro e Romero (2008), o grande número de critérios que envolvem o processo de tomada de decisões faz com que o planejamento florestal se torne um problema muito complexo, envolvendo critérios de diferentes naturezas, tais como, quesitos econômicos (comércio dos produtos florestais), quesitos ambientais (conservação do solo, água e biodiversidade) e quesitos sociais (geração de empregos, fixação do homem no campo).

Existe uma diversidade de ferramentas de apoio ao planejamento florestal para auxiliar na tomada de decisões, entre elas destaca-se o geoprocessamento e o sistema de informações geográficas (DIAZ-BALTEIRO; ROMERO, 2008).

#### 5.4 Ferramentas de apoio ao planejamento florestal

O Geoprocessamento pode ser definido como uma junção de tecnologias (Figura 5) para coleta e tratamento de dados espaciais, envolvendo técnicas e conceitos aplicados à cartografia digital, sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistema de informações geográficas (SILVA, 2003).

Figura 5 – Tecnologias que definem o geoprocessamento.



Fonte: Do autor (2019).

Atualmente, as técnicas do geoprocessamento se tornaram indispensáveis para utilização, análises e monitoramento, representando uma alternativa viável para minimizar os fatores limitantes e a subjetividades dos estudos (SILVA et al., 2017).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) envolve a coleta e o tratamento de dados espaciais, permitindo realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, sendo então uma tecnologia ligada a equipamentos (*hardwares*) e programas computacionais (*softwares*) (ROSA, 2013).

Segundo Rosa (2013), o SIG tem como principal objetivo servir como ferramenta eficiente para diversas áreas do conhecimento, possibilitando: (I) compilar em uma única base de dados informações que representem aspectos inerentes a uma área de estudo; (II) utilizar dados de diversas formas; (III) combinar dados gerando novos produtos; (IV) gerar relatórios e mapas. Além disso, o SIG permite analisar dados no contexto espacial, realizando interpolações de variáveis, modelando seu comportamento.

A análise espacial está intimamente ligada ao SIG, pois engloba todas as manipulações, transformações e métodos relacionados aos dados, dando suporte à tomada de decisões e revelando padrões que não podem ser vistos sem a realização da mesma (MIRANDA, 2015).

O desenvolvimento do SIG e o aperfeiçoamento das técnicas de geoprocessamento viabilizam a aplicação da geoestatística à modelagem de dados espaciais, transformando dados discretos em contínuos por meio de interpoladores espaciais (LUCAS et al., 2013)

A interpolação espacial pode ser entendida como a determinação de valores desconhecidos a partir de valores conhecidos ou amostrados. Esse processo pode ser definido através de duas partes; a primeira onde se define uma relação dos dados com seus vizinhos, ou seja, a correlação entre amostras próximas entre si; e a segunda, definição de um método que irá estimar os valores desconhecidos. As técnicas são constituídas por uma série de métodos, como inverso do quadrado da distância, polígonos de voronoi, splines e krigagem (MIRANDA, 2015).

Como exemplo, no setor florestal, pode-se citar o trabalho realizado por Leal (2011), em que utilizou-se a interpolação espacial krigagem para melhor compreender a distribuição espacial e distinguir áreas produtivas em volume ( $m^3$ ) em um povoamento de *Eucalyptus urophylla*.

Em um estudo para modelagem do terreno utilizando interpoladores espaciais, Miranda (2018) analisou diferentes interpoladores (Inverso do Quadrado da Distância, Spline e Vizinho Natural para se obter resultados capazes de modelar o terreno com eficiência.

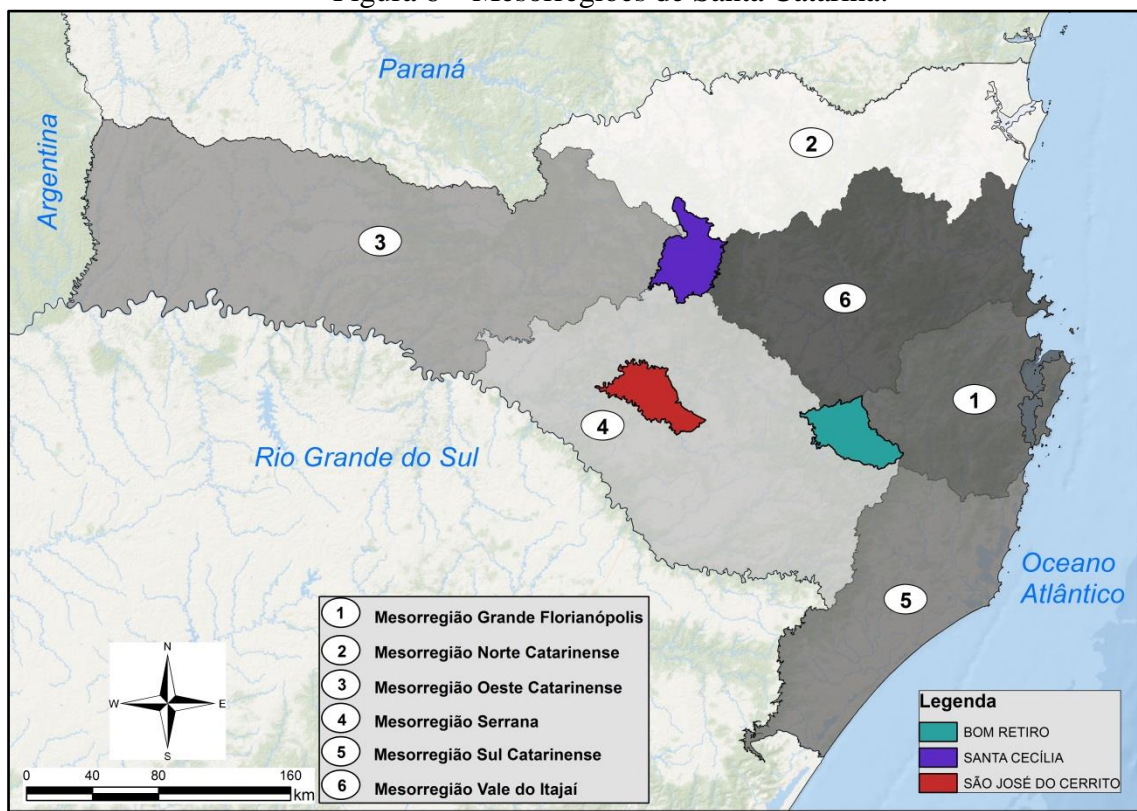
Com o objetivo de avaliar a estratificação realizada por dois interpoladores espaciais (Krigagem e IQD), Honório (2006) foi capaz de destacar o método mais eficiente na redução da variância da média e erro de amostragem no processamento do inventário.

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Áreas de estudo

O estudo foi realizado em quatro fazendas distintas da empresa Klabin S. A.. O estado de Santa Catarina está dividido em seis mesorregiões (Figura 6). As áreas de estudo se concentram dentro da mesorregião serrana (4).

Figura 6 – Mesorregiões de Santa Catarina.



Fonte: Do autor (2019).

Na fazenda Laranjeira analisou-se a aptidão à mecanização utilizando os interpoladores espaciais. O estudo de recomendação de preparo do solo se concentrou na fazenda Cambará, enquanto na fazenda Cerro Pelado II, utilizou-se interpoladores espaciais para estratificação no inventário e a espacialização da densidade básica da madeira foi desenvolvida na fazenda Rio Bonito.

### **6.1.1 Fazenda Laranjeira**

A fazenda Laranjeira se encontra no município de Bom Retiro – SC, e possui área total de 284,8 ha, clima predominante mesotérmico úmido, temperatura média de 19° C e está inserida na fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa. A precipitação média anual é de 1586 mm (IBGE, 2019). O tipo de solo é classificado como Cambissolo com horizonte A proeminente com textura argilosa.

### **6.1.2 Fazenda Cambará**

Localizada no município de Bom Retiro - SC, a fazenda Cambará tem clima predominante mesotérmico úmido com verão fresco e inverno rigoroso e temperatura média de 19° C e pertence à fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa. A precipitação média anual é de 1586 mm (IBGE, 2019). O tipo de solo é classificado como Cambissolo com horizonte A proeminente com textura argilosa. A área total da fazenda é de 434,95 ha, sendo o estudo realizado durante a operação de preparo do solo para posterior plantio de espécie arbórea.

### **6.1.3 Fazenda Cerro Pelado II**

A fazenda Cerro Pelado II está localizada no interior do município São José do Cerrito - SC, e possui uma área total de 404,6 ha e o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, com temperatura média de 16° C e pluviosidade de 1570 mm/ano (IBGE, 2019). Possui área plantada com *Pinus taeda* com espaçamento de 2,5 x 2,5 m e idade de 19 anos. O tipo de solo é o Nitossolo Háplico.

### **6.1.4 Fazenda Rio Bonito**

A fazenda Rio Bonito está localizada no município de Santa Cecília - SC, possui uma área total de 970,04 ha e o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, com verão fresco e temperatura média de 15,8° C, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1638 mm. O tipo de solo é o Latossolo Bruno com horizonte A proeminente e textura muito argilosa. Esta se insere na fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2019). A área possui um plantio de *Pinus taeda*, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m e idade de 16 anos.

## 6.2 Aptidão à mecanização

Existem diversos fatores que influenciam diretamente quando se trata de expansão de novas áreas. Dentre esses fatores pode-se citar: distância da área de interesse, facilidade de acesso (estradas em boas condições de tráfego) e característica da área (qualidade do solo, tipo do solo e aptidão à mecanização). Nesse sentido, levou-se em consideração a aptidão à mecanização para prospecção de novas áreas.

O estudo de aptidão à mecanização na fazenda Laranjeira tem como objetivo a quantificação das áreas quanto ao grau de mecanização, levando em consideração a declividade do terreno e os limites de inclinação para o trabalho seguro do maquinário.

O mapa de aptidão à mecanização irá definir o grau de mecanização da fazenda, onde se classificam as áreas em mecanizável, análise prévia para mecanização e não mecanizável. Para tal classificação consideram-se os limites de inclinação de trabalho seguro do maquinário que irá atuar em toda cadeia produtiva da fazenda. Na Tabela 3 tem-se a lista das máquinas e seus respectivos limites de inclinação em graus.

Tabela 3 – Valores limites de inclinação do maquinário para o trabalho seguro.

Nível seguro de declividade por máquina florestal			
Fabricante	Modelo	Lateral (Graus)	Longitudinal (Graus)
Valtra	Trator BT210	22°	23°
Valtra	Trator BM100	21°	24°
Massey Ferguson	Trator MF4291	20°	20°
Komatsü	Trator esteira D61	30°	30°
Komatsü	Trator esteira D51	30°	30°
Caterpillar	Trator esteira D6N	25°	25°
Caterpillar	Escavadeira 320C	25°	25°
Caterpillar	Motoniveladora 120H	25°	25°
Caterpillar	Motoniveladora 140K	25°	25°
Caterpillar	Retroescavadeira 416E	25°	25°
Komatsü	Forwader 895	21°	21°
John Deere	Skidder 648L	20°	20°
Doosan	DX225LCA	35°	35°
Doosan	DX340	35°	35°
ASV (BobCat)	RT 120 F	19°	20°

Fonte: Do autor (2019).

Além da informação dos valores dos limites de inclinação do maquinário é necessário obter os dados de elevação da fazenda que serão definidos pela interpolação das curvas de

nível equidistantes 10 metros, a fim de se obter a elevação de toda a área de estudo. O método que será utilizado para interpolação espacial das curvas de nível será o *Topo to Raster*.

### 6.2.1 *Topo to raster*

O processo de interpolação espacial com o uso da ferramenta *Topo to Raster* foi elaborado por Hutchinson (1989) durante o programa ANUDEM. O sucesso do método se dá pelo fato de usar, além dos arquivos de pontos de elevação, arquivos de curvas de nível para o processo de interpolação.

A interpolação é realizada utilizando a soma dos quadrados dos resíduos a partir dos dados de elevação da superfície (HUTCHINSON, 2009). O valor interpolado em cada posição é dado pela seguinte fórmula matemática:

$$Z_{est}(li) = f(xi, yi) + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, np \quad (1)$$

Em que:

- $Z_{est}$  – valor estimado da elevação no ponto  $li$  (m);
- $(xi, yi)$  – local  $li$  onde é estimado a elevação (m);
- $f$  – função desconhecida bivariada de amortização para localizações horizontais em um grid infinito;
- $np$  – número de pontos amostrados;
- $\varepsilon_i$  – resíduo de média zero e desvio padrão  $\omega_i$  (m).

Considerando que cada ponto amostrado tem sua localização definida entre seu correspondente no grid, o desvio padrão é calculado pela equação:

$$\omega_i = h \cdot \frac{Si}{3,464} \quad (2)$$

Em que:

- $h$  - espaçamento do grid (m);
- $Si$  – inclinação de cada célula no grid (graus).

A função definida por  $f$  pode ser calculada pela Equação 16:

$$\sum_{i=1}^{np} [Z_{est}(li) - f(xi, yi)/\omega_i]^2 + \lambda \cdot J(f) \quad (3)$$

Em que:



- $J(f)$  – medida da rugosidade da função  $f$  em termos da primeira e segunda derivada (HUTCHINSON, 1989);
- $\lambda$  – número positivo (parâmetro de suavização);
- Demais parâmetros já definidos anteriormente.

Esse tipo de interpolador espacial foi elaborado a fim de criar modelos de elevação a partir de dados vetoriais como curvas de nível, utilizando meios computacionais de interpolação local como o Inverso do Quadrado da Distância.

A partir dos dados interpolados de elevação realiza-se o cálculo da declividade do terreno em porcentagem pela ferramenta *Slope* (Análise Espacial) e posteriormente é feita a classificação da superfície nas seguintes classes conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de declividade e respectivas classes de aptidão à mecanização.

Classes	Declividade (%)	Aptidão à mecanização
I	0 - 35	Mecanizável
II	35 - 55	Análise prévia para mecanização
III	>55	Não mecanizável (manual)

Fonte: Do autor (2019).

Com a superfície classificada, é realizada a quantificação de áreas que se enquadram dentro de cada classe de aptidão, informando o quão mecanizável é a área de estudo.

### 6.3 Recomendação de preparo do solo

Dentre as operações florestais, o preparo do solo assume grande importância na cadeia produtiva, pois melhora as propriedades físicas do solo, facilita o crescimento do sistema radicular das mudas, propicia melhor estabelecimento do povoamento florestal e conserva as características físicas e químicas do solo, visando a sustentabilidade. Com base nesse uso conservacionista e sustentável do solo desenvolveu-se a recomendação do preparo do solo.

A recomendação de preparo do solo na fazenda Cambará tem como base a utilização do Modelo Digital de Terreno (MDT), fornecidos pelo Governo do Estado de Santa Catarina por meio da plataforma SIGSC (Sistema de Informações Geográficas – Santa Catarina) com resolução espacial de um metro.

O mapa de recomendação de preparo do solo se deu de forma a definir classes de declividade e a respectiva conduta de preparo do solo para cada classe. As classes de

declividade foram estabelecidas de forma que se prepare o solo, respeitando as características do relevo a fim de promover maior conservação do mesmo. Em conjunto com a operação de preparo do solo, foram definidas as seguintes classes conforme descrita na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de declividade e respectivas classes de recomendação de preparo do solo.

Classes	Declividade (graus)	Conduta para o preparo do solo
I	0 - 5,2	Preparo livre
II	5,2 - 10,5	Preparo intermitente
III	10,5 – 28,0	Preparo perpendicular a inclinação do terreno

Fonte: Do autor (2019).

A classe de recomendação de preparo do solo I abrange declividades de 0 a 5,2° e a conduta de preparo do solo é livre, ou seja, a operação fica isenta de qualquer intervenção na forma de preparo, podendo trabalhar da maneira que otimize a operação.

Na segunda classe de preparo do solo que contempla declividades de 5,2 a 10,5°, a recomendação é que se faça o preparo intermitente, sendo feitas estruturas na linha de preparo sentido morro abaixo, visando a interceptação do escoamento superficial através de intermitência na linha de preparo.

A conduta de preparo do solo perpendicular à inclinação do terreno, definida pela classe III, engloba declividades acima de 10,5°. Por se tratar de terrenos com altas declividades, o preparo deve ser de forma perpendicular ao escoamento superficial em área total, afim de minimizar impactos decorrentes de processos erosivos.

### 6.3.1 Geoestatística

A Geoestatística é uma área que engloba uma grande variedade de técnicas de interpolação, como Krigagem e Co-Krigagem. É utilizada para identificar e mapear padrões na superfície terrestre e na determinação da existência de autocorrelação espacial entre dados de pontos, onde deve-se existir uma dependência espacial fazendo com que se possa estimar valores em locais não amostrados a partir de pontos com valores conhecidos (LANDIM, 2000).

Utiliza-se de um semivariograma para a visualização da dependência espacial, sendo uma técnica fundamental para descrever quantitativamente a variação no espaço de uma variável regionalizada (SANTOS et al., 2011). O semivariograma é obtido a partir do cálculo das semivariâncias  $\gamma(\Delta d)$  pela equação:

$$\gamma(\Delta d) = \frac{1}{2.N} \sum_{i=1}^n [Z(li) - Z(li + (\Delta d))]^2 \quad (4)$$

Em que:

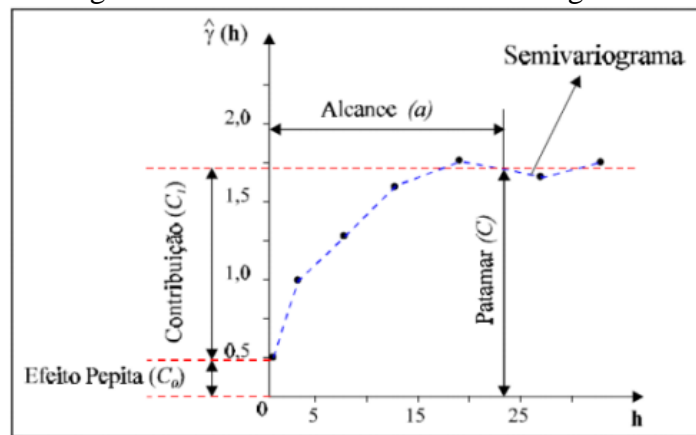
- $N$  – Número de pares de valores  $Z(li)$  e  $Z(li + (\Delta d))$ ;
- $(\Delta d)$  – distância entre os pares de valores (m);
- $li$  – posição no sistema de coordenadas (m);
- $Z$  – valor no ponto observado (m).

Espera-se que valores mais próximos espacialmente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aqueles mais distantes. Desse modo, espera-se que  $\gamma(\Delta d)$  aumente com a distância (CAMARGO, 1998).

Na Figura 7, tem-se a representação gráfica das semivariâncias onde se observa os seguintes parâmetros:

- Alcance (a): distâncias na qual as amostras ainda estão correlacionadas espacialmente;
- Patamar (c): valor da semivariância correspondente ao seu alcance. A partir desse ponto considera-se a inexistência de dependência espacial entre as amostras;
- Efeito Pepita ( $C_0$ ): pode ser atribuído a erros de medição, ou ao fato de que os dados não foram coletados em intervalos de distâncias suficientemente pequenos para descrever o comportamento espacial. Idealmente seria  $\gamma(0) = 0$  ;
- Contribuição ( $C_1$ ): diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Figura 7 – Parâmetros de um semivariograma.



Fonte: Adaptado de Camargo (1998).

Uma vez constada a existência de dependência espacial na variável em estudo (pontos de elevação) pode-se estimar valores em pontos não amostrados por meio de um preditor não tendencioso e de variância mínima chamado de Krigagem (SANTOS et al., 2011).

Existem diversos tipos de krigagem, cada um com sua particularidade, como a universal, pontual, em blocos e a Co-Krigagem. Neste trabalho foi utilizada apenas a Krigagem Ordinária, sendo um método linear, pois suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis, não-viciada porque busca o resíduo médio igual a 0.

Ao final do processo de krigagem ordinária tem-se uma autovalidação do método, que fornece parâmetros estatísticos que descrevem o quão o modelo prediz os valores medidos (dados de elevação). Os parâmetros estatísticos são: Erro médio (EM) que expressa a diferença média entre os valores medidos e os previstos, Erro Quadrático Médio (EQMR) que indica com que proximidade o modelo prediz os valores medidos e Média dos Erros Padronizada (MEP), em que quanto mais próximo de zero, melhor a capacidade preditiva do modelo.

$$EM = \frac{1}{N} \sum |X_i - Y_i| \quad (5)$$

$$EQMR = \sqrt{\frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$MEP = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - Y_i)/\sigma}{n} \quad (7)$$

Em que:

- $X_i$  – Valor Observado (m);
- $Y_i$  – Valor Estimado (m);
- $N$  – Número de amostras consideradas (m);
- $\sigma$  – Desvio Padrão (m).

Segundo Soares (2006), o que difere a krigagem de outros métodos de interpolação espacial está na forma em que os pesos são atribuídos em diferentes amostras, que são determinados através da análise espacial de um semivariograma.

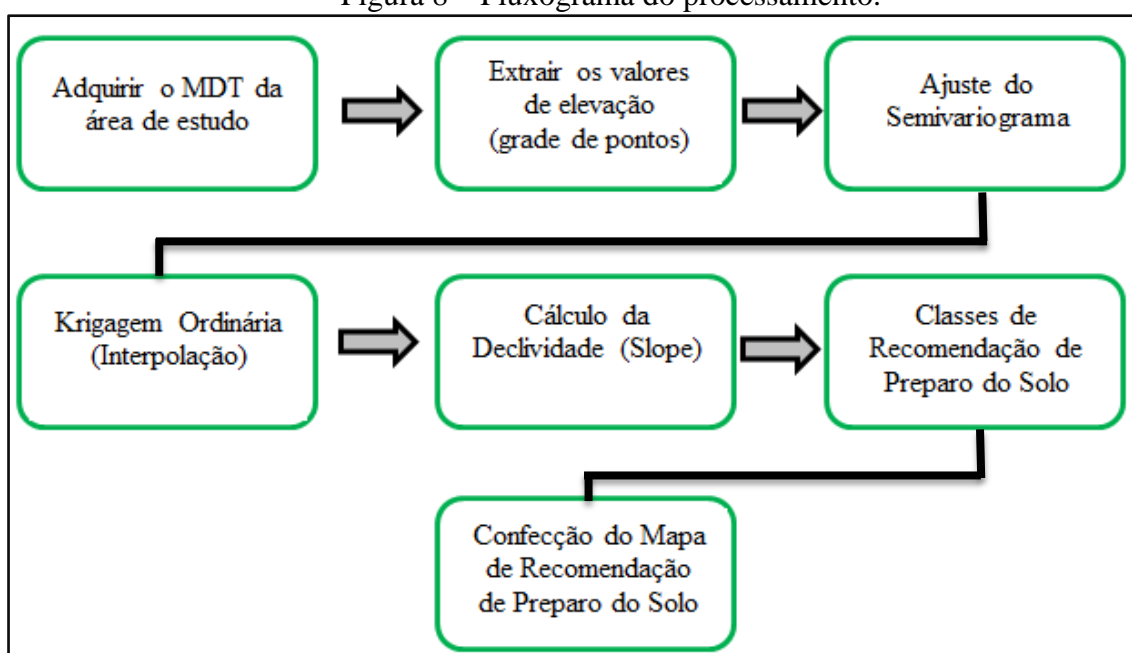
### 6.3.2 Processamento dos dados de elevação

Os dados de elevação da fazenda foram extraídos a partir do MDT, resultando numa grade de pontos distribuídos espacialmente. Cada ponto possui uma coordenada X (m), coordenada Y (m) e o valor da elevação (m) no ponto.

A etapa seguinte foi o ajuste do semivariograma para a fazenda, ajustou-se parâmetros de maneira a encontrar a melhor estrutura espacial dos dados. Essa etapa foi executada no *software ArcGis 10.5*, utilizando a extensão *Geoestatistical Analyst* e, posteriormente, interpolando os valores através da krigagem ordinária.

A partir da informação de elevação interpolada para a área, foi gerado uma superfície de valores de declividade do terreno, calculada em graus pela ferramenta Slope (Análises Espaciais) e sequencialmente realizada a classificação, seguindo as classes de recomendação de preparo do solo (Classe I, II e III). Um resumo do processo pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do processamento.



Fonte: Do autor (2019).

## **6.4 Interpolação espacial para estratificação no inventário florestal**

A estratificação de um povoamento florestal consiste na divisão do plantio em grupos homogêneos com base em algumas características de interesse, tais como: variáveis relacionados a topografia do terreno, características do solo, altura e idade das árvores e também informações de volume por hectare no plantio. Nesse sentido, utilizou-se a informação de volume por hectare para realização da estratificação no inventário florestal.

### **6.4.1 Obtenção e preparo de dados**

Os dados para o estudo da interpolação espacial para estratificação no inventário florestal foram oriundos de uma floresta plantada de *Pinus sp.* com idade de 19 anos. A intensidade amostral foi de uma parcela a cada três hectares, sendo que estas apresentam forma retangular e tamanho de 320 m<sup>2</sup>. As alturas são mensuradas das duas primeiras linhas de árvores e também das árvores dominantes por parcela, definidas pelas 100 árvores com maiores diâmetros por hectare. A área basal foi obtida através da soma das áreas seccionais de cada árvore, tomando por base o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) medidos na parcela e extrapoladas para o hectare.

### **6.4.2 Estratificador utilizado**

A amostragem estratificada foi obtida dividindo uma população em grupos homogêneos, para tal, com o objetivo de diminuir o erro associado ao inventário, foi realizada uma estratificação com base no volume por hectare, utilizando o interpolador determinístico Inverso do Quadrado da Distância (IQD). Para que se pudesse avaliar a eficiência e o grau de redução da variabilidade do estratificador, foi incluída a amostragem casual simples. Como critério para avaliar a qualidade da estratificação, efetuou-se o cálculo das variâncias da média ( $S_y^2$ ) e do erro de amostragem (E%).

### 6.4.3 Obtenção dos estratos

Para obtenção dos estratos via IQD, todas as parcelas do inventário (no total 77 parcelas) foram georreferenciadas, de forma que cada parcela teve sua localização através das coordenadas de acesso em metros (Tabela 6).

Tabela 6 – Estrutura de banco de dados de volume/hectare (m<sup>3</sup>)

Parcela	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	X1	Y1	812
2	X2	Y2	739
3	X3	Y3	727
...	...	...	...
77	X77	Y77	628

Fonte: Do autor (2019).

Plotada todas as parcelas no mapa com seus respectivos volumes, utilizou-se o módulo *Geostatistical Analyst* do software *ArcGis 10.5* da ESRI, do qual obteve-se a interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância com potência dois, resultando numa *layer* com os três estratos gerados. De posse da área de cada estrato, utilizou-se os estimadores de amostragem estratificada para obtenção da média e desvios do plantio.

### 6.4.4 Processamento do inventário florestal

Para o processamento do inventário florestal pela amostragem casual simples foram utilizados os estimadores: Média (*med*), Variância (*Var*), Desvio Padrão (*S*), Erro Padrão da Média (*S med*) e o Erro do Inventário (*E%*) que são descritos pelas seguintes equações:

$$med = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (8)$$

$$var = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i^2) - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}}{n-1} \quad (9)$$

$$S = \sqrt{var} \quad (10)$$

$$Smed = \sqrt{\frac{var}{n} * (1 - \frac{n}{N})} \quad (11)$$

$$E(\%) = \frac{t * Smed}{med} * 100 \quad (12)$$

Em que:

- $y_i$  – valores observados de volume ( $m^3$ );
- $n$  – número de parcelas;
- $N$  – número de parcelas cabíveis na área;
- $t$  – grau de confiança.

Para o processamento da amostragem casual estratificada foram utilizadas as fórmulas dos estimadores: Média ( $med_j$ ), Variância ( $var_j$ ) e Desvio Padrão ( $S_j$ ), primeiramente por estrato aplicando as seguintes equações:

$$med_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (13)$$

$$var_j = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i^2) - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}}{n-1} \quad (14)$$

$$S_j = \sqrt{var} \quad (15)$$

Após a aplicação dos estimadores por estrato foram obtidas as informações populacionais (Estratos – j) com as estatísticas: Média da População Estratificada ( $y_{medstr}$ ), Variância da População Estratificada ( $varstr$ ), Desvio Padrão da População Estratificada ( $Sstr$ ), Variância da Média ( $var_{medstr}$ ) e Desvio Padrão da Média ( $S_{medstr}$ ). Conforme as equações a seguir:

$$y_{medstr} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_j}{N}\right) * med_j \quad (16)$$

$$varstr = \sum_{j=1}^h \left(\frac{N_j}{N}\right) * var_j \quad (17)$$

$$Sstr = \sqrt{varstr} \quad (18)$$

$$var_{medstr} = \frac{1}{N^2} * \sum_{j=1}^h N_j(N_j - n_j) * \frac{var_j}{n_j} \quad (19)$$

$$S_{medstr} = \sqrt{var_{medstr}} \quad (20)$$

Ao final do processamento do inventário, comparou-se os estimadores a fim de avaliar a redução do erro através da estratificação do povoamento florestal com base na espacialização do volume.



## 6.5 Espacialização da densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira assume um papel importante na cadeia produtiva na produção de papéis para embalagens, essa característica influencia diretamente na qualidade do produto final. Para produção de papéis para embalagens a indústria demanda madeiras com densidades básica definidas. Diante disso, torna-se fundamental o direcionamento correto de matéria-prima (madeira) com especificações corretas relacionadas à densidade básica e o processo de espacialização dessa variável permite fornecer subsídios para o estudo do comportamento dessa variável num plantio florestal.

### 6.5.1 Preparo da base de dados

O banco de dados utilizado possui um total de 195 amostras, obtidas pelo inventário da densidade básica da madeira em uma fazenda experimental da Klabin S.A, coletadas de forma sistemática com intensidade amostral de 1 amostra a cada 3 hectares. Dentre o conjunto de amostras aplicadas nos métodos de interpolação (espacialização) analisados, 30% das amostras foram retiradas, de modo a apresentar uma representatividade da amplitude dos dados, para análise do desempenho dos mesmos.

Os dados foram organizados, conforme a Tabela 7, de tal modo que apresente: número da amostra, coordenada X (m), coordenada Y (m) e densidade básica da madeira (variável a ser especializada).

Tabela 7 - Estrutura do banco de dados de densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>).

Amostra	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
1	X1	Y1	0,375
2	X2	Y2	0,386
3	X3	Y3	0,374
...	...	...	...
195	X195	Y195	0,369

Fonte: Do autor (2019).

### 6.5.2 Análise exploratória dos dados

Com intuito de analisar o padrão de distribuição espacial dos dados, realizou-se a análise exploratória para os dados de densidade básica da madeira com o uso do conjunto de

ferramentas do *Geostatistical Analyst* do software *ArcGis 10.5*, para os principais parâmetros estatísticos, tanto de tendência central, quanto de medidas de dispersão.

A análise exploratória dos dados é uma etapa necessária para melhor entendimento do comportamento dos dados a serem usados em qualquer tipo de interpolador espacial. As medidas de tendência central e dispersão examinam a distribuição e a dispersão dos dados, identificando os valores mais frequentes, dados discrepantes (*outliers*) e simetria (normalidade da distribuição).

A aplicação de interpoladores espaciais possui uma melhor eficácia, erros menores, quando os dados possuem uma distribuição mais próxima da normalidade. O histograma e o gráfico Boxplot auxiliam na exploração dessa característica de interesse no conjunto de dados.

### 6.5.3 Métodos de espacialização

Para realizar a espacialização da densidade básica da madeira foram utilizados alguns métodos de interpolação espacial, tais como: Inverso do Quadrado da Distância (IQD), Spline Regularizado e Spline Tensionado.

O Inverso do Quadrado da Distância é umas das técnicas de interpolação mais utilizada para valores pontuais espalhados espacialmente. A espacialização pelo IQD estima valores usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso atribuído a cada ponto é o inverso de uma função da distância (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011). É um método de interpolação computacionalmente rápido, uma vez que a definição dos pesos para ponderação é realizada de uma forma simplista. Usou-se para tal o módulo *Geostatistical Analyst* do software *ArcGis10.5* do qual obteve a interpolação pelo método IQD com potência 2.

O cálculo do Inverso do Quadrado da Distância é dado pela seguinte fórmula:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (21)$$

Em que:

- $Z(x)$  – é o valor do ponto que se deseja interpolar ( $\text{g/cm}^3$ );
- $n$  – é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto  $x$ ;
- $Z(x_i)$  – é o valor do ponto  $x_i$  ( $\text{g/cm}^3$ );
- $w_i$  – é o peso do valor de  $x_i$  sobre o ponto  $x$ .

Para se determinar o valor de  $w_i$  utiliza-se a seguinte equação matemática:

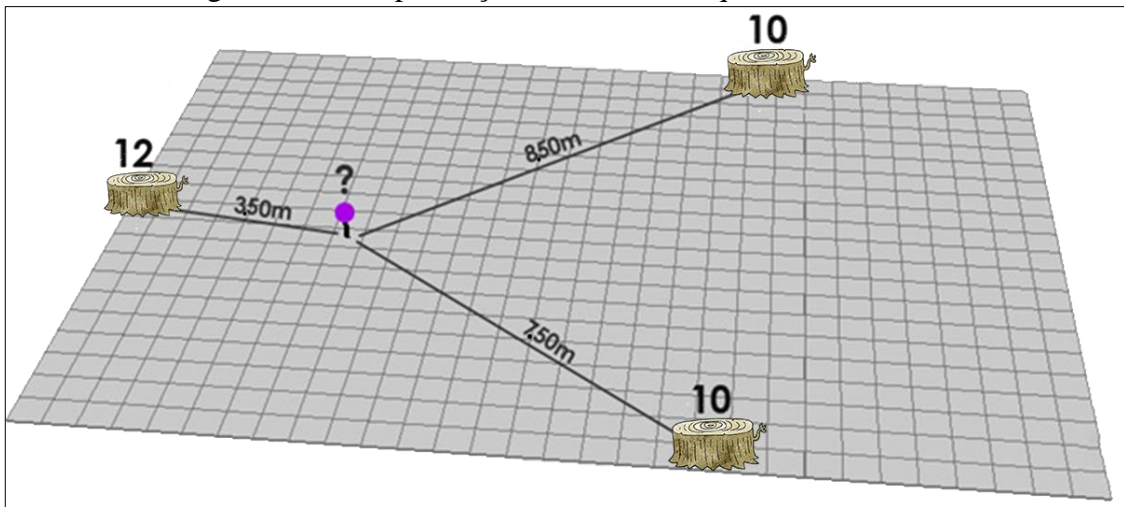
$$w_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (22)$$

Em que:

- $h(x, x_i)$  – é a distância entre o ponto  $x$  e o ponto  $x_i$ ; (m);
- $p$  – é o parâmetro de potência, que no caso foi utilizado igual a dois.

O cálculo pelo Inverso do Quadrado da distância pode ser exemplificado (Figura 9).

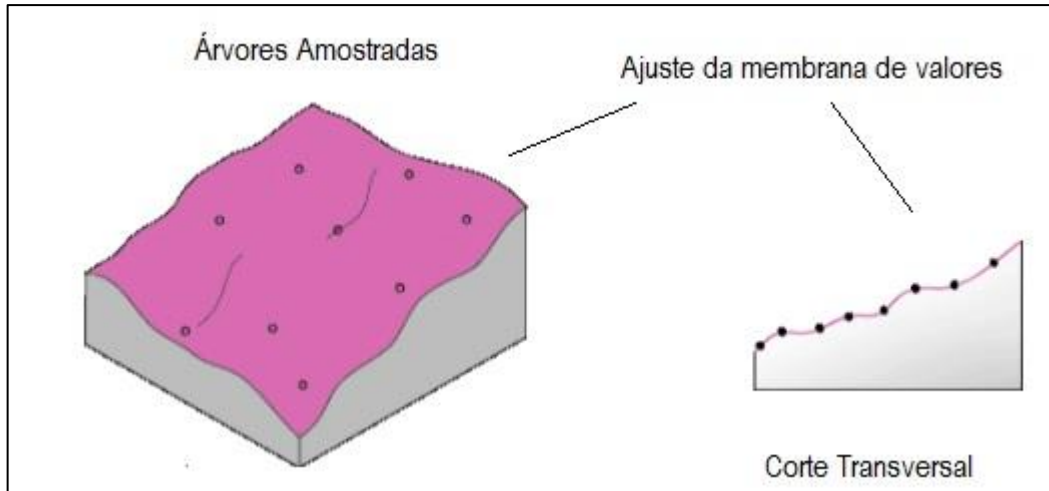
Figura 9 – Exemplificação do inverso do quadrado da distância.



Fonte: Do autor (2019).

O método de interpolação Spline (Regularizado e Tensionado) estima valores usando uma equação matemática que minimiza a curvatura da superfície, resultando numa camada lisa que passa exatamente pelos valores amostrados. Assemelha-se à moldagem de uma membrana de valores que contempla todos os pontos amostrais, conforme a Figura 10. O método Spline Tensionado cria uma superfície com valores mais restritos aos dados observados, já o método Spline Regularizado cria uma superfície suavizada que modifica gradualmente com os valores além dos dados observados (ESRI, 2018).

Figura 10 – Exemplificação do Spline com o ajuste da membrana de valores.



Fonte: ESRI (2018).

Matematicamente, a função Spline  $S(x)$  deve satisfazer a condição de que  $S(x)$  para os pontos medidos deve ser igual a  $Z(x)$  e ao mesmo tempo a seminorma de suavização  $I(s)$  deve ser a menor possível.

$$S(x_j) = Z(x_j) \quad (23)$$

$$I(S) = \text{mín} \quad (24)$$

Um ponto  $x$  é determinado pelos valores de suas coordenadas cartesianas  $(x_1, x_2)$  sendo  $x_1$  a coordenada cartesiana  $x$  e  $x_2$ , a coordenada cartesiana  $y$  (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011). A seminorma de suavização  $I(S)$  é determinada através da equação matemática:

$$I^2(S) = \sum_{\alpha} \beta_{\alpha} \iint_{\Omega} \left[ \frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2}} \right]^2 dx_1 dx_2 \quad (25)$$

Em que:

- $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ , com  $\alpha_1$  variando de 0 ao grau de  $x_1$  em  $S(x)$ ;
- $\alpha_2$  variando de 0 ao grau de  $x_2$  em  $S(x)$ .

Sendo  $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2$ , e  $\Omega$  é a região considerada do espaço bidimensional e  $\beta_{\alpha}$  uma constante não negativa definida pela equação:

$$\beta_{\alpha} = \begin{cases} 0 & , \text{se } |\alpha| = 0 \\ \frac{|\alpha|}{\alpha_1! \alpha_2!} \frac{1}{\varphi^{2|\alpha|} (|\alpha|-1)!} & , \text{se } |\alpha| > 0 \end{cases} \quad (26)$$

em que,  $\varphi$  é o peso de tensão. Quanto maior for esse valor, maior será a influência de derivadas de ordem superior sobre a função resultante (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011).

A resolução geral da equação  $S(x)$  será:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x, x_j) \quad (27)$$

Em que:

- $T(x)$  é uma função de tendência;
- $R(x, x_j)$  é uma função de base radial cuja equação é:

$$R(x, x_j) = -[E1(\rho) + \ln(\rho) + C] \quad (28)$$

$$\rho = \left(\frac{\varphi r(x, x_j)}{2}\right)^2 \quad (29)$$

Em que:

- $E1$  é a função exponencial integral;
- $Ce$  é a constante de Euler;
- $r$  é a distância entre  $p$  e  $p_j$  definida por:

$$r(x, x_j) = \sqrt{(x_1 - x_{j1})^2 + (x_2 - x_{j2})^2} \quad (30)$$

Para inferir sobre o melhor método de espacialização da densidade básica da madeira, será utilizado o procedimento de validação cruzada.

A validação cruzada consiste na retirada de alguns valores amostrados do banco de dados. Neste caso serão retirados 30% dos valores amostrados, divididos proporcionalmente nas três classes de densidade básica da madeira (conforme a Tabela 8), para serem comparados aos valores estimados pelos interpoladores espaciais nos respectivos locais.

Tabela 8 – Classes de densidade básica da madeira

Classe	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
I	<0,363
II	0,364 - 0,373
III	>0,374

Fonte: Do autor (2019).

A validação cruzada irá comparar os valores reais e os valores estimados e para decisão do melhor interpolador serão utilizados alguns parâmetros estatísticos: Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Relativo Médio (ERM), Raiz Quadrada do Erro Relativo Médio (RQERM) conforme as seguintes equações:

$$EAM = \frac{1}{N} \sum |X_i - Y_i| \quad (31)$$

$$ERM = \frac{1}{N} \sum \frac{X_i - Y_i}{X_i} \quad (32)$$

$$RQERM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \left(\frac{X_i - Y_i}{X_i}\right)^2} \quad (33)$$

Em que:

- $X_i$  – Valor Observado (g/cm<sup>3</sup>);
- $Y_i$  – Valor Estimado (g/cm<sup>3</sup>);
- $N$  – Número de amostras consideradas (g/cm<sup>3</sup>).

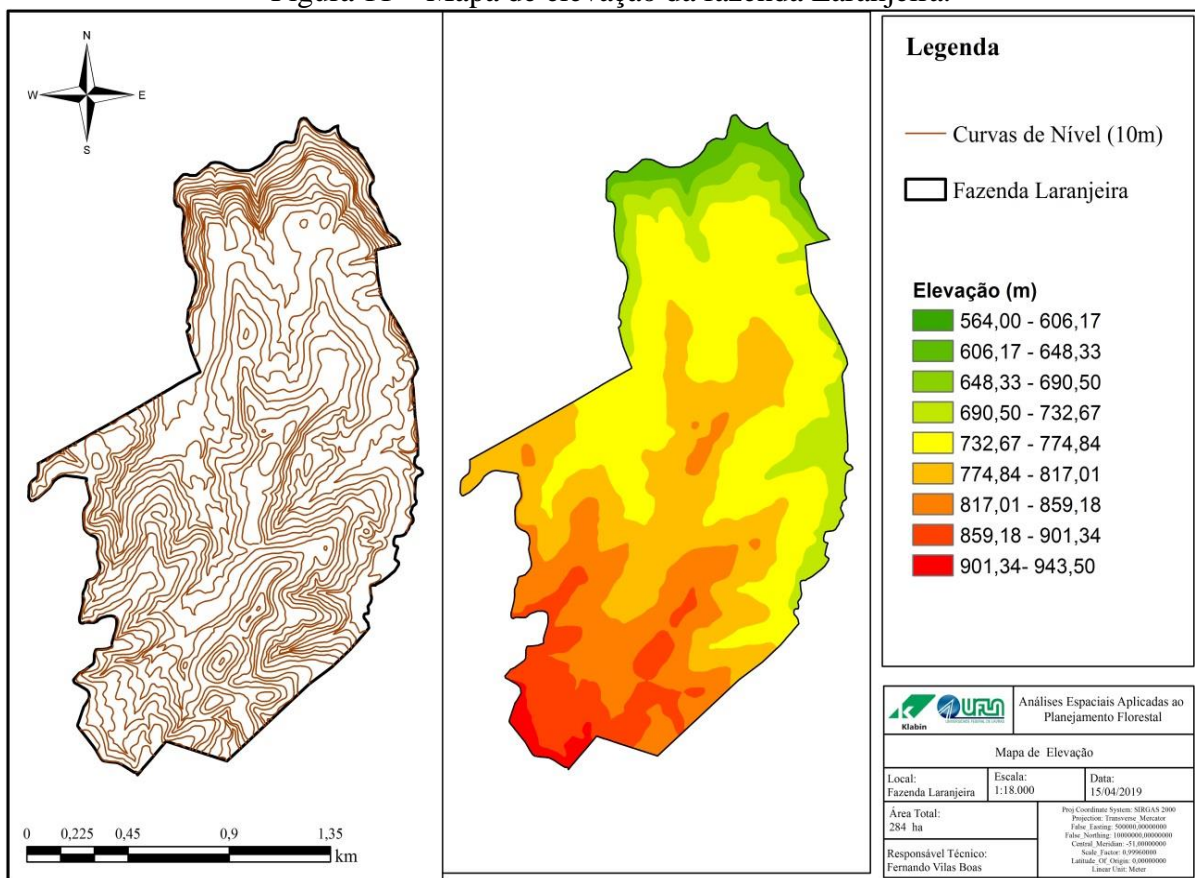
O EAM mostra a tendência do modelo em subestimar (sinal positivo) ou superestimar (sinal negativo) a estimativa da variável de interesse. A ERM indica a magnitude do erro, demonstrando a habilidade do modelo em fazer estimativas mais próximas das reais quando seu valor tende a zero. Já a RQERM expressa a acurácia dos resultados representando o desvio padrão do erro de predição.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Aptidão à mecanização

Para compor o mapa de aptidão à mecanização da Fazenda Laranjeira primeiramente é realizada a interpolação espacial das curvas de nível resultando numa superfície de dados interpolados de elevação (Figura 11).

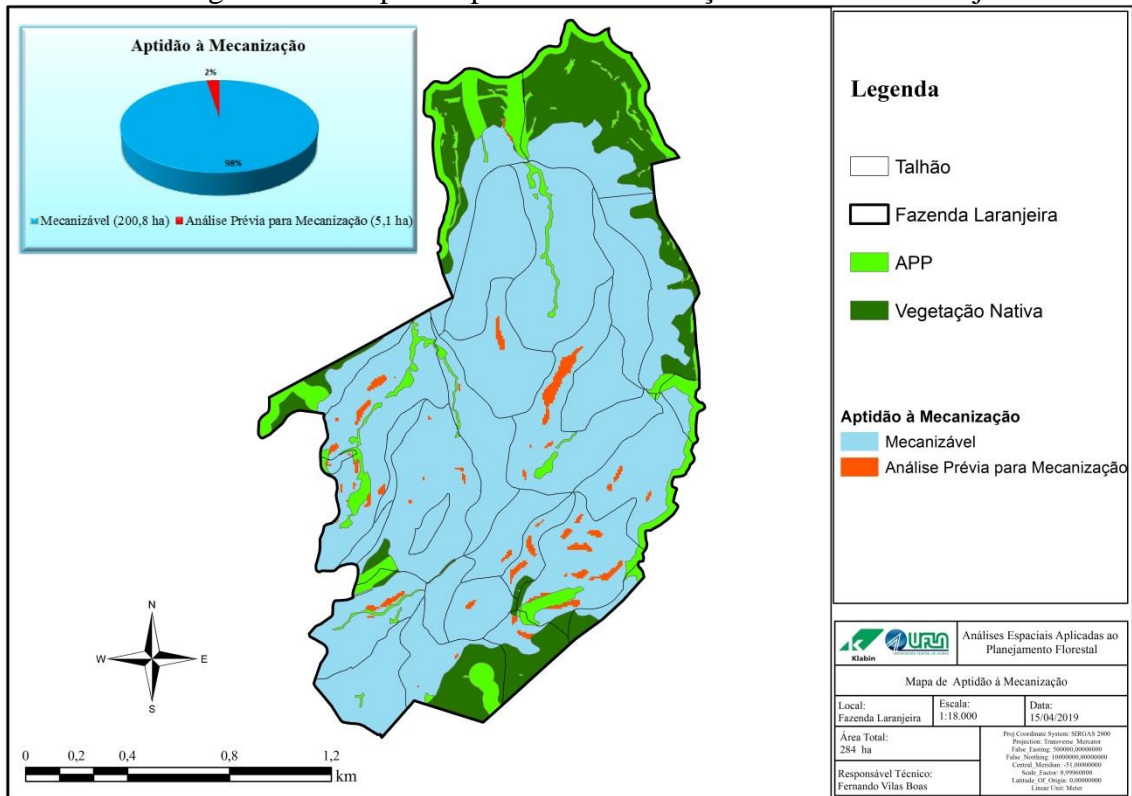
Figura 11 – Mapa de elevação da fazenda Laranjeira.



Fonte: Do autor (2019).

A partir do mapa de elevação, calcula-se e, posteriormente, contabiliza-se as áreas que se enquadram dentro de cada classe de mecanização: 0 – 35% (Mecanizável), 35 – 55% (Análise Prévia para Mecanização) e > 55% (Não Mecanizável - Manual). O mapa resultante desse processo encontra-se na Figura 12. Conforme pode ser observado, no mapa não houve áreas classificadas como não mecanizável.

Figura 12 – Mapa de aptidão à mecanização da fazenda Laranjeira.



Fonte: Do autor (2019).

Com as informações do mapa de aptidão à mecanização, é possível conhecer melhor a fazenda no momento de compra ou arrendamento, destacando as regiões que são passíveis de mecanização e sua respectiva área, além da informação se o maquinário disponível atende às áreas da fazenda onde são necessárias operações mecanizáveis. As áreas que se enquadram dentro da classe “Análise Prévia para Mecanização” são regiões em que é necessária uma análise de campo para verificar as condições do local caso exista algum impedimento físico, por se tratar de uma região de transição do relevo para áreas com alta declividade.

O mapa de aptidão à mecanização torna-se uma ferramenta útil para auxiliar no Planejamento Florestal no que se refere a tomadas de decisões no momento de se prospectar novas áreas. Na área analisada, é possível constatar que a fazenda apresenta potencial para a mecanização, tornando-se interessante neste quesito para aquisição e ou arrendamento pela empresa.

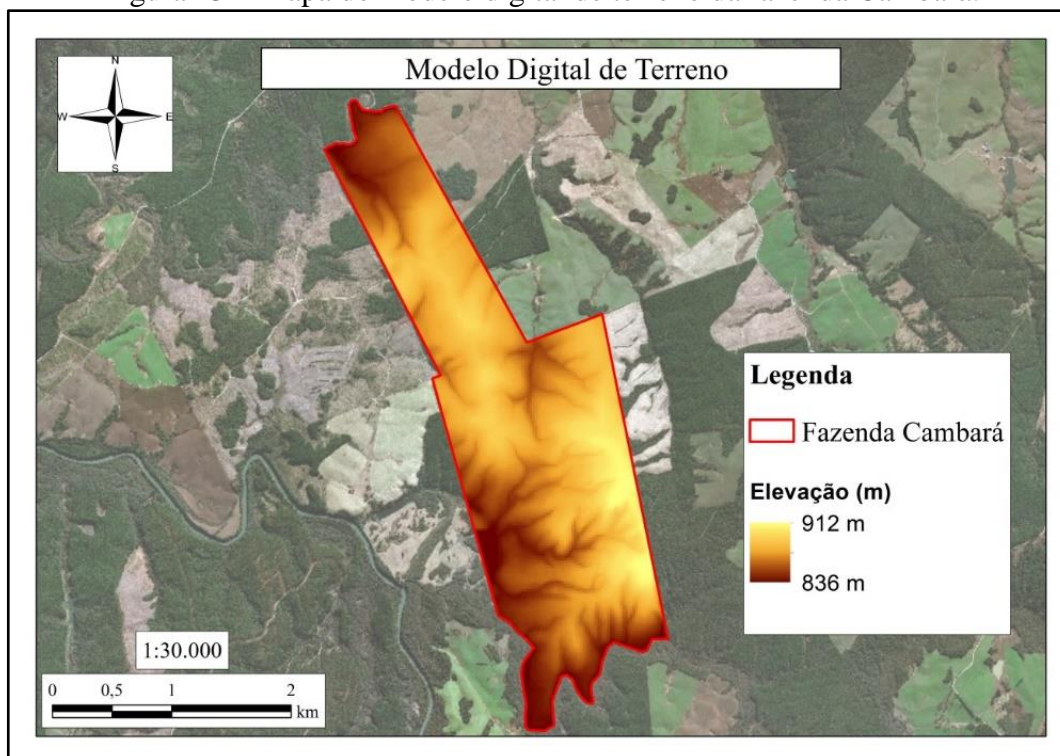


## 7.2 Recomendação de preparo do solo

### 7.2.1 Análise exploratória dos dados de elevação

A partir do mapa (Figura 13) confeccionado com o modelo digital de terreno foram retirados os dados de elevação da Fazenda Cambará para posterior análise exploratória.

Figura 13 – Mapa do modelo digital de terreno da fazenda Cambará.



Fonte: Do autor (2019).

As estatísticas descritivas dos dados de elevação obtidos através do modelo digital de terreno encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Estatística descritiva dos dados de elevação(m).

<b>Estatística</b>	<b>Elevação (m)</b>
Valor Mínimo	836,0
Valor Máximo	912,0
Média	869,3
Desvio Padrão	17,2
Assimetria	-0,052
Curtose	2,26
Coefficiente de Variação	1,98%
1ºQuartil	855,9
Mediana	870,8
3ºQuartil	882,2

Fonte: Do autor (2019).

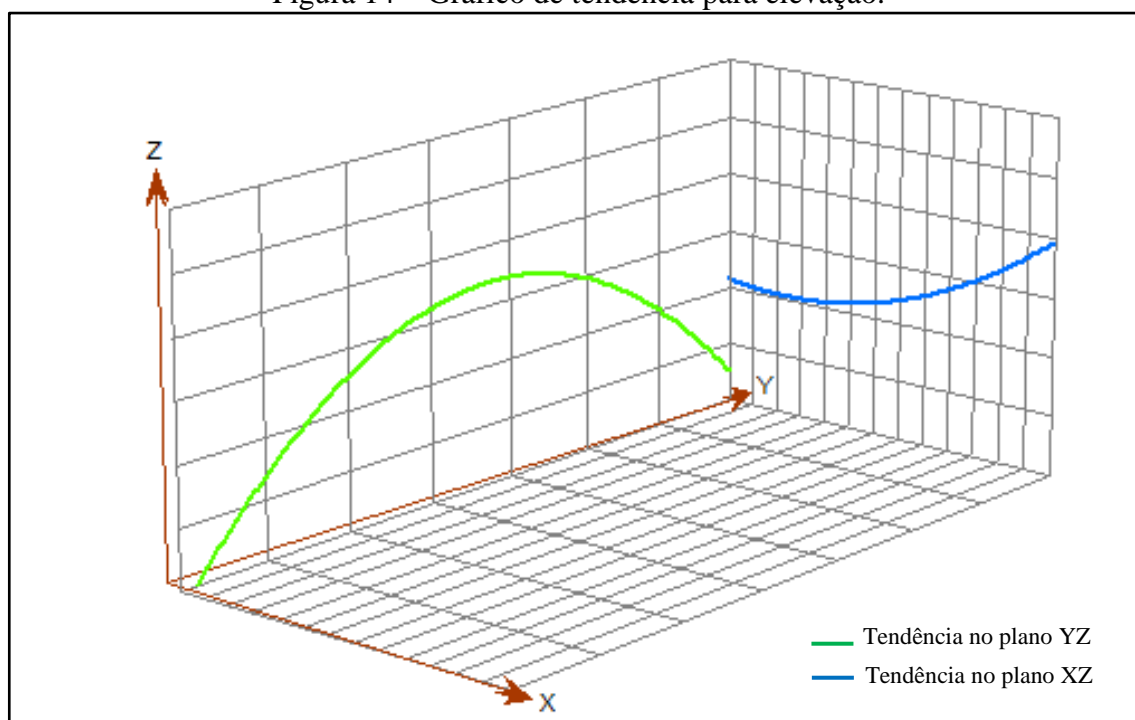
A partir dos valores da média (869,3 m) e mediana (870,8 m), observa-se que os dados possuem uma distribuição próxima da normalidade, com baixo coeficiente de assimetria negativo (-0,052), indicando uma distribuição assimétrica com deslocamento para a direita. O conjunto de dados apresentou baixo coeficiente de variação (1,98%) devido ao fato da altitude do local apresentar baixa amplitude.

Os dados de elevação foram submetidos a uma identificação de *outliers* não sendo verificada a presença de dados discrepantes no banco de dados.

### 7.2.2 Análise geoestatística

Na análise geoestatística dos dados de elevação verificou-se que os dados apresentam tendência espacial de segunda ordem (Figura 14) sendo observada uma curva em verde no plano YZ (Leste – Oeste) e uma curva em azul no plano XZ (Norte – Sul). Ambas demonstram a tendência espacial parabólica geralmente apresentada em dados de relevo e que deve ser retirada para ajuste do modelo estável (VIEIRA, 2000).

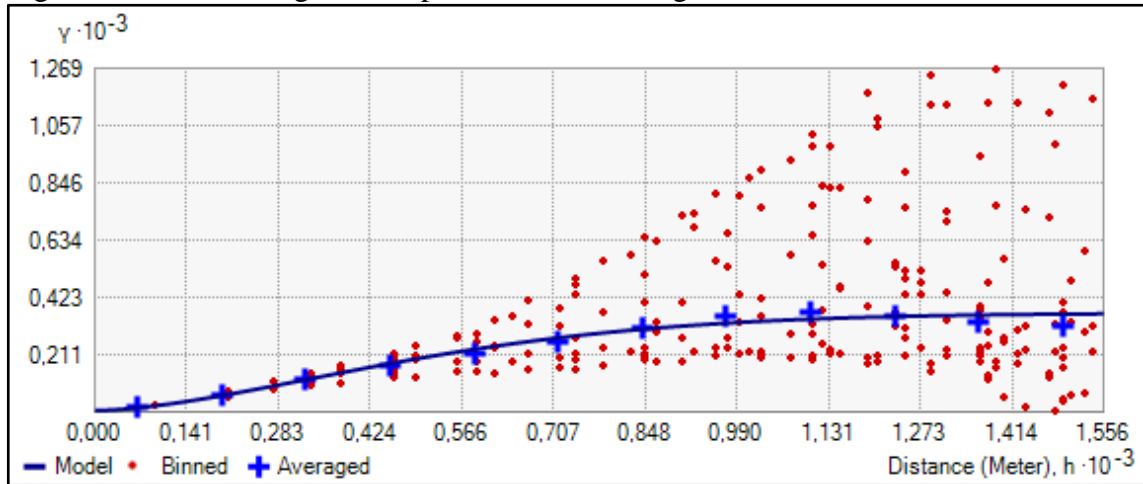
Figura 14 – Gráfico de tendência para elevação.



Fonte: Do autor (2019).

Após verificar a tendência espacial da elevação, prossegue-se com a krigagem com remoção da tendência e a modelagem do semivariograma empírico a partir dos dados não tendenciosos. O modelo teórico que melhor se ajustou ao semivariograma empírico na modelagem da dependência espacial foi o modelo estável, representado pela Figura 15.

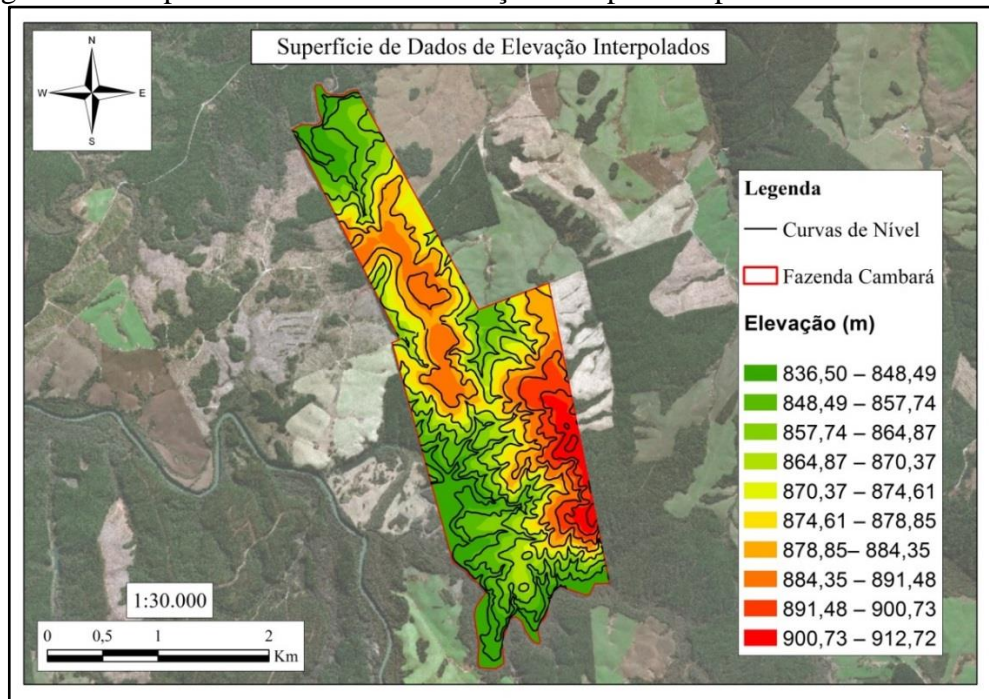
Figura 15 – Semivariograma empírico do modelo digital de terreno da fazenda Cambará.



Fonte: Do autor (2019).

A Figura 16 mostra a superfície interpolada gerada, aplicando-se a krigagem ordinária, com remoção de tendência nos dados de elevação. Nela se vê também as curvas de nível equidistantes 10 metros.

Figura 16 – Superfície de dados de elevação interpolados para a fazenda Cambará.



Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 10 estão representadas as estatísticas que validam o método de interpolação utilizado.

Tabela 10 – Estatísticas de validação do método de interpolação krigagem ordinária.

<b>Estatística</b>	<b>Krigagem Ordinária</b>
EM (m)	-0,003
EQMR (m)	0,032
MEP (m)	2,46

Legenda, EM: Erro Médio; EQMR: Erro Quadrático Médio e MEP: Média dos Erros Padronizados.  
Fonte: Do autor (2019).

Considerando-se os baixos valores do EM, EQMR e MEP pode-se afirmar que o método de interpolação por krigagem ordinária possui uma boa capacidade preditiva.

### **7.2.3 Cálculo da declividade e confecção do mapa de recomendação de preparo do solo**

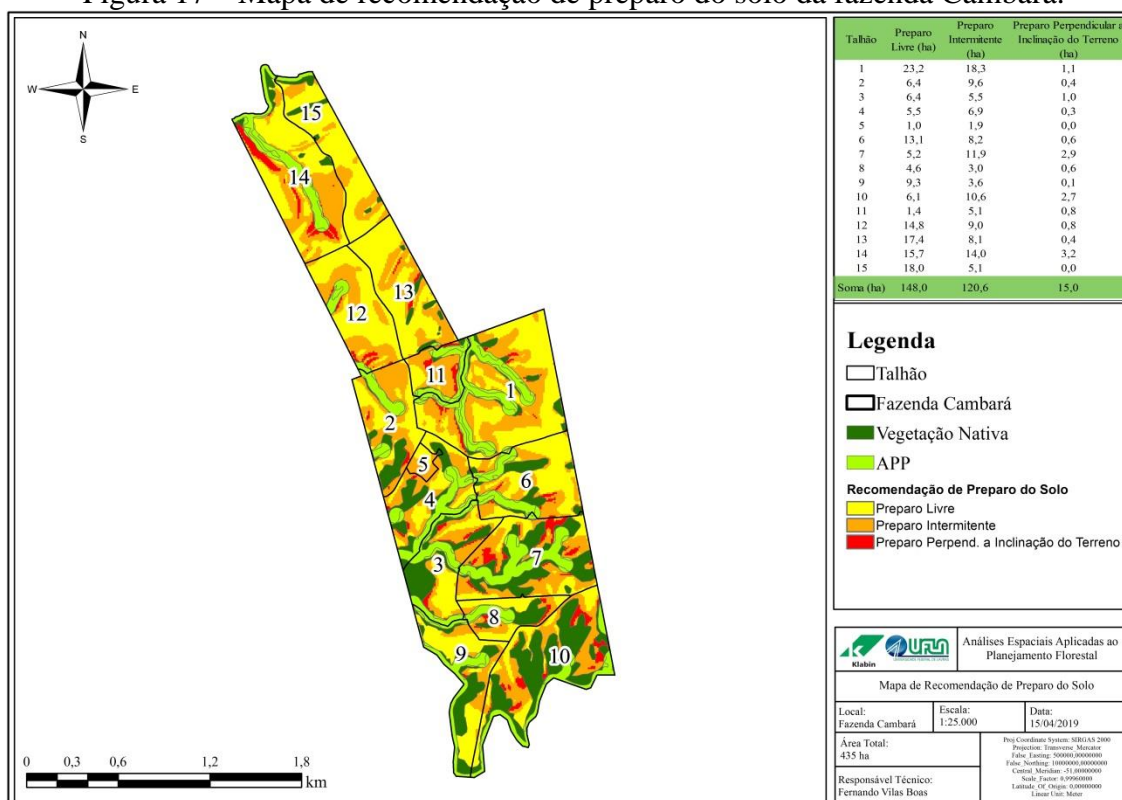
De posse da superfície de elevação interpolada pela krigagem ordinária criou-se a declividade da fazenda Cambará. Depois prosseguiu-se com a classificação do relevo de acordo com as classes estabelecidas: 0 – 5,2° (preparo livre), 5,2 – 10,5° (preparo intermitente) e >10,5° (preparo perpendicular a inclinação do terreno).

O mapa final dessa sequência de processos informará a recomendação de preparo do solo com base na declividade do terreno conforme mostra a Figura 17.

Além do mapa de recomendação de preparo do solo, foi realizada uma quantificação de áreas (Tabela 11) em cada classe para melhor inferência das recomendações. Pode-se observar que mesmo tendo baixa variação da elevação, ou seja, baixa amplitude (76 metros) a análise foi capaz de captar as três classes de recomendação.

A classe “Preparo Livre” corresponde a 53 % da área produtiva da fazenda, 42% da área produtiva se enquadra na classe “Preparo Intermitente” e 5% da área disponível para preparo está dentro da classe “Preparo Perpendicular a Inclinação do Terreno”.

Figura 17 – Mapa de recomendação de preparo do solo da fazenda Cambará.



Fonte: Do autor (2019).

Tabela 11 – Quantificação das áreas em cada classe de recomendação de preparo do solo.

Talhão	Preparo Livre (ha)	Preparo Intermitente (ha)	Preparo Perpendicular (ha)
1	23,2	18,3	1,1
2	6,4	9,6	0,4
3	6,4	5,5	1,0
4	5,5	6,9	0,3
5	1,0	1,9	0,0
6	13,1	8,2	0,6
7	5,2	11,9	2,9
8	4,6	3,0	0,6
9	9,3	3,6	0,1
10	6,1	10,6	2,7
11	1,4	5,1	0,8
12	14,8	9,0	0,8
13	17,4	8,1	0,4
14	15,7	14,0	3,2
15	18,0	5,1	0,0
<b>Soma (ha)</b>	<b>148,0</b>	<b>120,6</b>	<b>15,0</b>

Fonte: Do autor (2019).

## 7.3 Interpolação espacial para estratificação no inventário florestal

### 7.3.1 Processamento do inventário - amostragem casual simples

Foram processados os dados do inventário florestal utilizando os estimadores da amostragem casual simples, obtendo os seguintes resultados constantes na tabela 12.

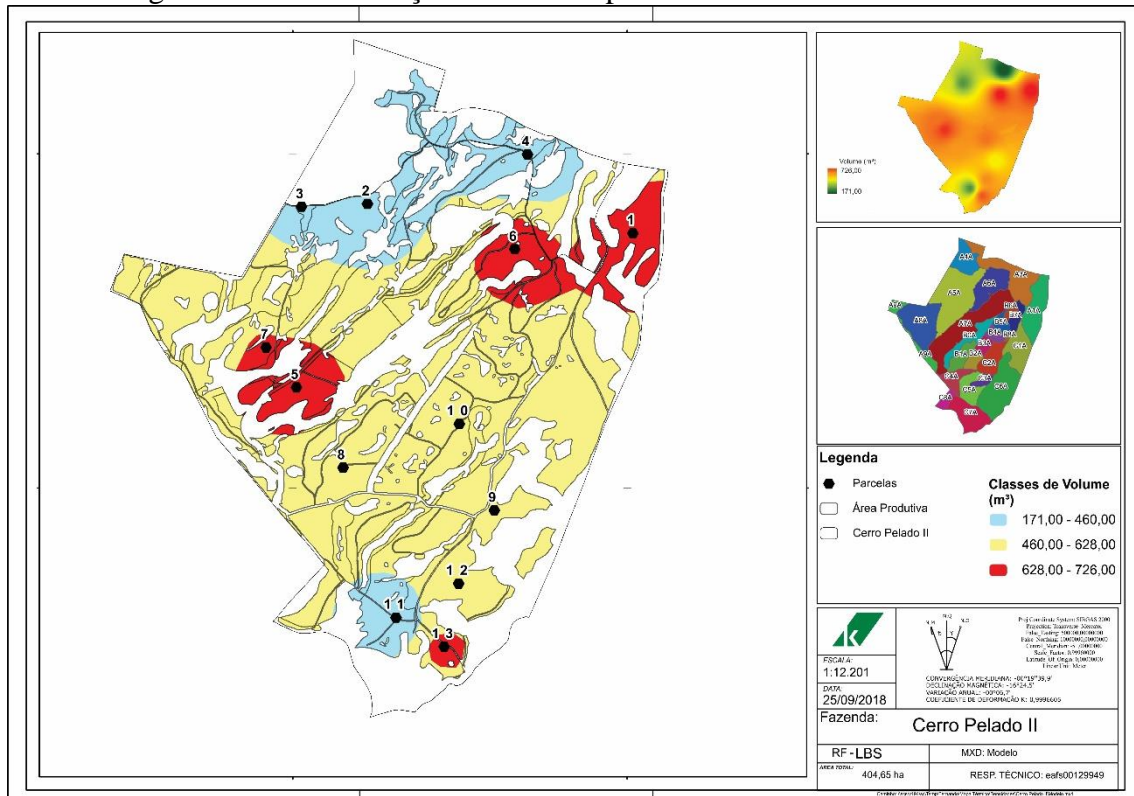
Tabela 12 – Estimadores do processamento do inventário pela amostragem casual simples.

Estimadores	Amostragem Casual Simples
Área Total (ha)	227,15
Parcelas (m <sup>2</sup> )	321
Média (m <sup>3</sup> )	533,15
Variância (m <sup>6</sup> )	33183,80
Desvio Padrão (m <sup>3</sup> )	182,16
Erro Padrão da Média (m <sup>3</sup> )	50,47
Erro (%)	16,87

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 18 é ilustrado o processo resultante da interpolação do volume por hectare das parcelas da Fazenda Cerro Pelado II, utilizando-se o método do inverso do quadrado obtendo-se três estratos de volume de madeira.

Figura 18 – Estratificação do volume para a área da fazenda Cerro Pelado II.



Fonte: Do autor (2019).

Após a realização da estratificação da fazenda processou-se a amostragem casual estratificada com o intuito de comparar os erros entre os processamentos utilizados obtendo os resultados da Tabela 13.

Tabela 13 - Estimadores do processamento do inventário pela amostragem casual estratificada.

<b>Estimadores</b>	<b>Amostragem Casual Estratificada</b>
Área Estrato I (ha)	31,59
Área Estrato II (ha)	152,59
Área Estrato III (ha)	29,56
Variância Estratificada (m <sup>6</sup> )	18747,62
Desvio Padrão Estratificada (m <sup>3</sup> )	20,36
Erro (%)	6,64

Fonte: Do autor (2019).

Com a se nesses resultados observa-se que o interpolador inverso do quadrado da distância utilizando como variável o volume/ha promoveu uma redução no erro do inventário de aproximadamente 10%. Tal análise permite inferir que os métodos dos interpoladores espaciais têm potencial para uso na definição de estratos gerando ganhos de precisão para estimativa do volume.

## **7.4 Espacialização da densidade básica da madeira**

### **7.4.1 Análise exploratória dos dados**

Foi realizada a análise exploratória dos dados de densidade básica da madeira obtendo os parâmetros estatísticos conforme Tabela 14.

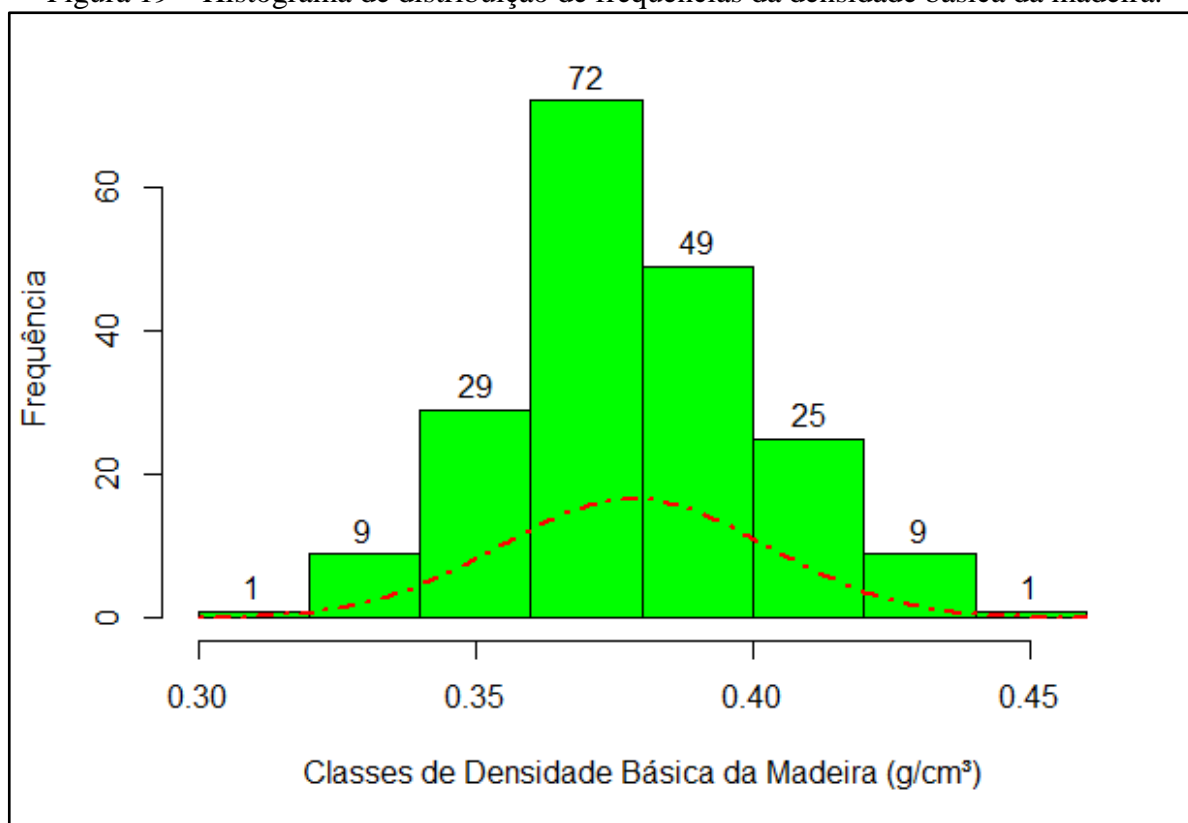
Os valores de densidade básica da madeira das 195 amostras possuem valor da mediana próximo ao valor da média. Esse comportamento e o tamanho da população amostral permitem concluir que os dados possuem uma distribuição estatística normal padrão, o que é mostrado na Figura 19, característica desejável para aplicação de interpoladores espaciais (PAZ-GONZALEZ et al., 2001). O baixo valor do Coeficiente de Variação (6,5%) indica uma baixa variabilidade dos dados, devido ao fato da base de dados ser proveniente de um plantio com mesmo material genético, idade e espaçamento.

Tabela 14 – Parâmetros estatísticos da densidade básica da madeira ( $\text{g/cm}^3$ ).

<b>Estatística</b>	<b>Densidade Básica da Madeira (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>
Dados Observados	195
Valor Mínimo	0,310
Valor Máximo	0,459
Média	0,378
Desvio Padrão	0,024
Assimetria	0,159
Curtose	3,213
Coefficiente de Variação	6,50%
1º Quartil	0,363
Mediana	0,377
3º Quartil	0,392

Fonte: Do autor (2019).

Figura 19 – Histograma de distribuição de frequências da densidade básica da madeira.

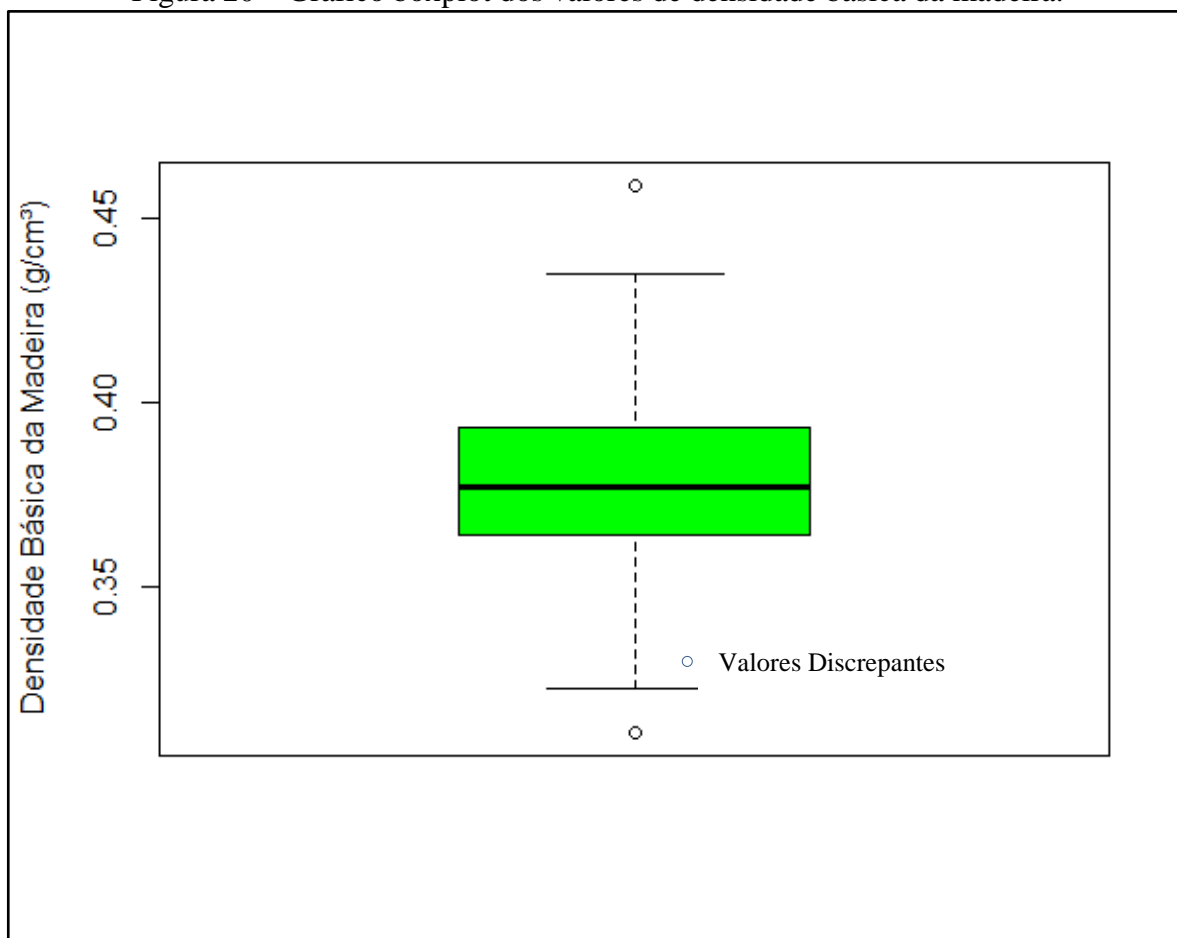


Fonte: Do autor (2019).

O gráfico Boxplot, Figura 20, fornece informações quanto à simetria da distribuição dos dados de densidade básica da madeira representada por uma linha da mediana no centro do retângulo. Outra característica que se pode observar é a presença de valores discrepantes (*outliers*).



Figura 20 – Gráfico boxplot dos valores de densidade básica da madeira.



Fonte: Do autor (2019).

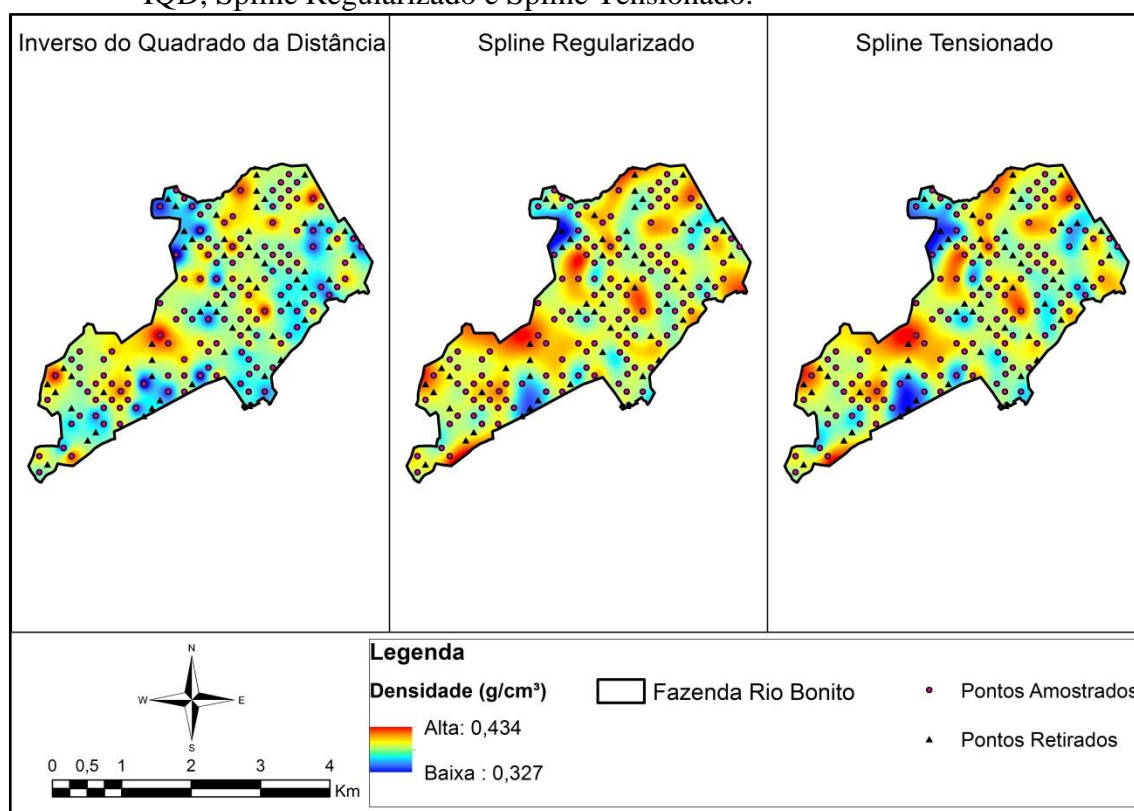
Os dados discrepantes podem influenciar a variância aleatória, implicando na presença ou ausência de correlação espacial (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001). Por isso esses dados foram removidos para posterior interpolação espacial.

#### 7.4.2 Métodos de espacialização

A Figura 21 mostra a distribuição espacial dos dados de densidade básica da madeira gerados pelos interpoladores Inverso do Quadrado da Distância, Spline Regularizado e Spline Tensionado. É possível observar que, de maneira geral, ocorreram algumas variações nos interpoladores utilizados.

Os resultados da interpolação por Spline (Regularizado e Tensionado) apresentam uma tendência de suavização da superfície, pois o modelo leva em consideração uma equação matemática que minimiza a curvatura da superfície.

Figura 21 – Mapas temáticos da densidade básica da madeira utilizando os interpoladores IQD, Spline Regularizado e Spline Tensionado.



Fonte: Do autor (2019).

Observando a superfície gerada pelo interpolador inverso do quadrado da distância fica evidente o surgimento de pontos concêntricos, chamados de “*olhos de boi*”, que destacam anomalias locais pela utilização da potência 2 (quadrado) no modelo (YAMAMOTO, 2001).

Na Tabela 15, são apresentadas as estatísticas básicas dos dados observados e estimados, gerados pela validação cruzada.

Tabela 15 – Estatísticas da validação cruzada dos métodos de interpolação espacial.

<b>Estatística</b>	<b>IQD</b>	<b>Spline Regularizado</b>	<b>Spline Tensionado</b>
Dados Observados	58	58	58
Média(g/cm <sup>3</sup> )	0,380	0,375	0,377
EAM(g/cm <sup>3</sup> )	-0,011	-0,005	-0,008
ERM(g/cm <sup>3</sup> )	-0,033	-0,017	-0,024
E(%)	-3,3%	-1,7%	-2,4%
RQERM(g/cm <sup>3</sup> )	0,075	0,111	0,093

Legenda, IQD: Inverso do Quadrado da Distância; EAM: Erro Absoluto Médio; ERM: Erro Relativo Médio; RQERM: Raiz Quadrada do Erro Relativo Médio; E%: Erro em porcentagem.

Fonte: Do autor (2019).

Com relação aos resultados encontrados, é possível observar que os três métodos se mostram adequados à realização da interpolação espacial com baixos valores de EAM, ERM e E%, porém observa-se uma diferença expressiva. O EAM, ERM e E% do método de interpolação Spline Regularizado foram menores quando comparados com os erros do inverso do quadrado da distância e spline tensionado, sendo o spline regularizado o método preferido.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da ferramenta *Topo to Raster* para obtenção dos dados de elevação com base nas curvas de nível foi de suma importância para compor a análise de aptidão à mecanização. Com as informações do mapa de aptidão à mecanização é possível conhecer melhor a fazenda no momento da compra e/ou arrendamento, destacando as regiões que são passíveis de mecanização e sua respectiva área além da informação se o maquinário disponível atende as áreas da fazenda onde são necessárias operações mecanizáveis.

A Krigagem ordinária se mostrou precisa ao estimar valores de elevação para pontos não amostrados dentro da área de interesse, fornecendo valores confiáveis para a confecção do mapa de recomendação de preparo do solo. Os mapas de recomendação de preparo do solo apresentam informações relacionadas a conduta a ser tomada no preparo do solo da fazenda com base nos valores de declividade, onde áreas com declividade acima de 10,5° o preparo deve ser diferenciado. Tais práticas permitem um uso conservacionista do solo reduzindo os efeitos negativos da mecanização florestal (erosão).

A redução do erro no inventário foi considerável, redução de aproximadamente 16% para 6%, fato que demonstra que a utilização do interpolador espacial inverso do quadrado da distância para geração de estratos com base no volume/hectare se dá de forma satisfatória. Desta maneira pode-se estabelecer um método eficiente para estratificação num povoamento florestal que gere um aumento da precisão no inventário e/ou a redução do seu custo.

Dentre os interpoladores espaciais aplicados para a espacialização da densidade básica da madeira, o método Spline Regularizado possui menores erros associados à sua estimativa sendo, portanto, o método mais indicado nesse caso analisado. A espacialização da densidade básica da madeira fornece subsídios para o entendimento do comportamento dessa variável ao longo do plantio, destacando áreas que possuem densidades mais altas, médias ou baixas, o que implica na priorização de algumas áreas no momento da colheita.

## 9 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a aplicação de interpoladores espaciais para espacialização de variáveis de interesse florestal por meio de um sistema de informações geográficas fornece um conjunto de informações que melhora a tomada de decisões dentro do planejamento florestal. Tais informações se mostram precisas e confiáveis fornecendo segurança ao tomar decisões técnicas durante as operações florestais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BNDES. Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 39, p. [281]-342, mar. 2014. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4602>>. Acesso em: 2 mai. 2019.

CAMARGO,E.C.G. Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. In: CAMARA, G.MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. 2°. ed., São José dos Campos: INPE, 1998. Cap.5, 36p.

CHIAVENATO, I. **Administração nos novos tempos**. Elsevier Brasil. 2°.ed. São Paulo; 2005. 648p.

DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. **Forest Ecology and Management**, Espanha, v. 255, n. 8, p. 3222-3241, 2008.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis for Desktop**. Estados Unidos da América. 2018 . Disponível em: < <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/topo-to-raster.htm>> Acesso em 19 mai. 2019

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Forest resource assessment – FRA 2015: terms and definitions**. Roma: FAO, 2015. (Working Paper 180). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/017/ap862e/ap862e00.pdf>>. Acesso em 19 mai. 2019.

HONÓRIO,K.J.; SCOLFORO,R.J.;MELLO,M.J.; OLIVEIRA,D.A. **Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de eucalyptus sp**. CERNE, Lavras, vol. 12, núm. 2, abril-junho, 2006, pp. 123-136.

HUTCHINSON, M. F. A New procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hidrology**, Austrália v.106, p.212-232, 1989.

HUTCHINSON, M. F. **Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data**. In XVIII Congresso Mundial IMACS e MODSIM09 Congresso Internacional sobre Modelagem e Simulação. Austrália, Cairns,2009. p. 13-17.

IBGE, 2019. **Instituto brasileiro de geografia e estatística .Cidades IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em : 12 abr. 2019

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ 2017**. Brasília, DF, 2017. 80p. Relatório anual 2017. Disponível em :<[https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 18 mai.2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Boletim da indústria brasileira de árvores**. Edição 57. Primeiro Trimestre de 2019. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/e-mail-marketing/cenarios/cena-rios-57-1otrim-2019-iba.pdf>> Acesso em : 12 abr. 2019.

JORGENCA. **A diferença entre o planejamento estratégico, tático e operacional**. Disponível em :< <https://jorgenca.blogspot.com/2017/06/a-diferenca-entre-o-planejamento.html> > Acesso em: 18 maio.2019

KLABIN. **Plano de Manejo Florestal**. Otacílio Costa, 2018. 255p.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática , Texto Didático, v.2,p.20, 2000.

LEAL, A. F; **Mapeamento de unidades produtivas utilizando a interpolação geoespacial krigagem a partir do inventário florestal em um povoamento de eucalyptus urophylla**. Universidade de Brasília. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiania. Vol.7, N.13.727. 2011.

LUCAS, P. B. T. et al. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuvas a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba Ano 9. vol.13. p.122-126. 2013.

MARCUZZO, F.F.N.; ANDRADE, L.R.; MELO, D.C.R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado de mato grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Goiânia vol.4, p.13-17. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Metodos\_de\_Interpolacao\_Matematica\_no\_Mapeamento\_d.pdf>. Acesso em 04 mar.2019.

MARQUES, M.I.M. Considerações sobre a expansão da indústria de papel e celulose no Brasil a partir do caso da Suzano Papel e Celulose. **Geographia**, Rio de Janeiro. n.17, v.35, p.120-147, 2015

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de sistema de informações geográficas**. 4.ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2015.399p.

MIRANDA, B. H. G; Análise de qualidade de amostragem e interpolação na geração de MDE. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia. vol 70. N.1. pag 226-257. 2018

MONTANA, P. J.; CHARNOV, B. H. **Administração**. 3ª. São Paulo: Saraiva, 2010.

OLIVEIRA, D. P. R. **Introdução à administração: teoria e prática**. Atlas, 2009.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

PUKKALA, T. **Multi-objective forest planning**. Springer Science & Business Media, 2013.  
RIBEIRO JUNIOR, P. P.; DIGGLE, P. P. **GeoR: a package for geostatistical analysis**. R News, Rochester, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

RIBEIRO, Q.G. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica**. 3ªed. São Paulo. Fundamento de Geoprocessamento. Pag.3-12 2002.

RODRIGUES, F. L. **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais**. 2001. 225 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia. Uberlândia. 2013. Disponível em: Acesso em 15 de junho de 2018

SANTOS, G. R. et al. Krigagem simples versus krigagem universal: qual preditor mais preciso? **Energia na Agricultura**, São Paulo. Vol.26, n 2, 2011.

SILVA, B.G et al. **O uso da geotecnologia para análises de área verde em Birigui**. XIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, Estância Turística de Tupã/SP. 2017. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/2927/form4838585.pdf>> Acesso em 20 de maio de 2019

SILVA, J.SV. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/MT**. 2003. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. São Paulo, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99649/simoes\\_d\\_me\\_bo\\_tfca\\_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99649/simoes_d_me_bo_tfca_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 04 out. 2018.

SNIF, 2017. Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF, **Boletim 2017 sobre recursos florestais**. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>. Acesso em: 03 out. 2018

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do meio ambiente**. 2ª ed. IST Press. Lisboa. 2006.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.

WERNEBURG, P.A.M. **Planejamento em grandes empresas florestais no Brasil**. Diamantina, 2015. Disponível em: <[http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/1045/1/mauro\\_antonio\\_pereira\\_werneburg.pdf](http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/1045/1/mauro_antonio_pereira_werneburg.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo: USP, 2001. 226p.