

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

**Rafael Marques Nascimento**

**ABORDAGEM DE FLORESTA DE PRECISÃO PARA QUALIDADE  
SILVICUTURAL EM PLANTIO COMERCIAL DE *Eucalyptus sp.***

**Santa Maria, RS  
2017**

**Rafael Marques Nascimento**

**ABORDAGEM DE FLORESTA DE PRECISÃO PARA QUALIDADE  
SILVICUTURAL EM PLANTIO COMERCIAL DE *Eucalyptus sp.***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, área de concentração em Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Santa Maria, RS

2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Nascimento, Rafael Marques  
ABORDAGEM DE FLORESTA DE PRECISÃO PARA QUALIDADE  
SILVICUTURAL EM PLANTIO COMERCIAL DE Eucalyptus sp. /  
Rafael Marques Nascimento.- 2017.  
59 f.; 30 cm

Orientador: Lúcio de Paula Amaral  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2017

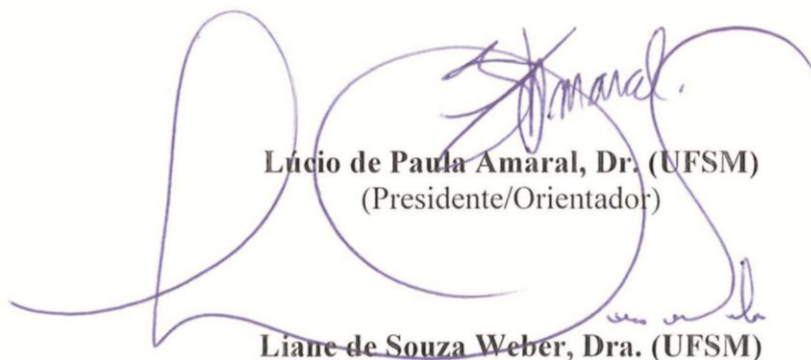
1. Silvicultura de Precisão 2. SIG 3. Análise  
Espacial. I. Amaral, Lúcio de Paula II. Título.

**Rafael Marques Nascimento**

**ABORDAGEM DE FLORESTA DE PRECISÃO PARA QUALIDADE  
SILVICUTURAL EM PLANTIO COMERCIAL DE *Eucalyptus sp.***

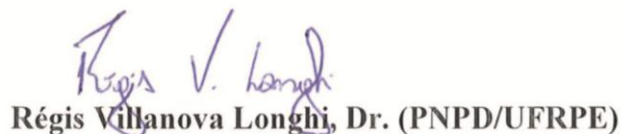
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, área de concentração em Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

**Aprovado em 06 de janeiro de 2017:**



**Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Liane de Souza Weber, Dra. (UFSM)**



**Régis Villanova Longhi, Dr. (PNPD/UFRPE)**

**Santa Maria, RS**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

A concretização deste trabalho ocorreu pela dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, agradeço:

- primeiramente ao meu professor/orientador Lúcio de Paula Amaral, por seguir comigo nessa caminhada, me apoiando e me orientando sempre;

- as empresas CMPC Celulose Riograndense e Carpelo S/A por disponibilizarem a área e equipamentos para a realização deste trabalho;

- aos meus pais Robson e Cristiane, pelo exemplo e dedicação que me deram, e principalmente pelo amor incondicional em todos os momentos;

- aos meus irmãos Eduardo, Gabriel e Henrique, por acreditar na minha capacidade, mostrando que caráter e perseverança são essenciais para alcançar os objetivos;

- a minha namorada Amanda, que me deu muito apoio, dedicou parte do seu tempo para me ajudar a realizar este trabalho e também pela compreensão da minha ausência;

- aos meus colegas de profissão Cássio Thomas da Silveira e Marcelo Corrêa de Oliveira, por dedicarem um pouco do seu tempo para me ajudar a realizar este trabalho.

## RESUMO

### ABORDAGEM DE FLORESTA DE PRECISÃO PARA QUALIDADE SILVICULTURAL EM PLANTIO COMERCIAL DE *Eucalyptus sp.*

AUTOR: Rafael Marques Nascimento  
ORIENTADOR: Dr. Lúcio de Paula Amaral

A silvicultura de precisão (SP) envolve atividades que podem ser consideradas soluções para manter o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e os benefícios ambientais obtidos com sua adoção. Equipamentos e técnicas empregadas nesta abordagem visam utilizar a variabilidade espacial existente nas florestas, através da coleta de dados georreferenciados e gestão das informações em sistemas de informações geográficas (SIG), para possibilitar o manejo diferenciado de zonas específicas, conforme as exigências de cada sítio florestal para aumento de sua produtividade. O objetivo deste trabalho foi aplicar análise espacial a dados de qualidade de um plantio comercial de *Eucalyptus sp.* e distinguir zonas de densidade final de plantas. O plantio em estudo, com aproximadamente 100 dias, localiza-se em um horto florestal no município de Butiá-RS, contendo aproximadamente 145 ha (fração de um projeto florestal), onde foram instaladas aleatoriamente 36 unidades amostrais (ua) de 299,87 m<sup>2</sup>, georreferenciadas com receptor GPS de navegação. Foram mensuradas nas mesmas as variáveis número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, quebradas, falhas no plantio (covas sem plantar), plantas mortas, bifurcadas, replantadas e número total de plantas por ua. Essas variáveis foram tabuladas em planilha eletrônica no Microsoft Excel<sup>®</sup> juntamente com as coordenadas das ua, utilizada para a geração de *shapefile* de pontos no SIG Arc Map<sup>®</sup> 10. A análise espacial foi constituída pela interpolação dos dados pelo inverso da distância ponderada (IDW). Posteriormente, sobrevivência, problemas de sobrevivência e densidade final do plantio foram obtidas por álgebra de mapas no SIG. As classes de sobrevivência ou de densidade foram obtidas por reclassificação dos dados interpolados, da sobrevivência obtida, tendo por referência parâmetros de qualidade definidos pela gestão do horto florestal. A área de influência de cada ua foi determinada por polígonos de Voronói, para verificar a existência de áreas com baixa intensidade amostral. Com essas variáveis foram elaborados mapas temáticos para melhor visualizar, analisar e interpretar a qualidade de plantio. As zonas de sobrevivência ou de densidade de plantio obtidas (qualidade) foram denominadas de abaixo do ideal, ideal e acima do ideal, quando se observou, respectivamente, a densidade <38, entre 38 e 42 (valor desejado  $\pm 5\%$ ), e acima de 42 plantas por ua. O parâmetro de referência foi 40 plantas por ua, que corresponde a 1333 plantas por ha. Foram observadas para estas três classes, respectivamente, áreas de 9,64; 42,43 e 93,40 ha. O número de falha e os problemas relacionados à sobrevivência apresentaram alta correlação com a sobrevivência de plantas, sendo respectivamente de 40 e 49 %, p 0,05. O número de falhas e a quantidade de resíduos pós-colheita alteraram a média da densidade de plantas nas ua, que foi acima do ideal na maior parte da área. Sobrevivência, número total de plantas e número de plantas atacadas por formigas diferenciaram as zonas de densidade de plantio. Conclui-se que a abordagem da silvicultura de precisão aplicada na fase inicial do processo de implantação e/ou reforma de uma floresta, pode propiciar uma densidade de plantas mais adequada, uma vez que indica áreas onde o plantio não atende os parâmetros de qualidade silvicultural, o que poderá possibilitar a intervenção do gestor florestal, em áreas específicas da floresta a taxas variadas.

**Palavras-chave:** Silvicultura de Precisão. SIG e Análise Espacial.

## ABSTRACT

### PRECISION FORESTRY APPROACH FOR SILVICULTURAL QUALITY IN COMMERCIAL PLANTS OF *Eucalyptus sp*

AUTHOR: Rafael Marques Nascimento

ADVISER: Dr. Lúcio de Paula Amaral

Precision Forestry (PF) involves activities that can be considered as solutions to maintain the balance between sustainable development and the environmental benefits obtained through its adoption. Equipment and techniques used in this approach aim to use the spatial variability of forests through the collection of georeferenced data and information management in geographic information systems (GIS), to enable the differentiated management of specific areas, according to the requirements of each forest site to increase the productivity. This study aimed to apply spatial analysis to quality data of a commercial plantation of *Eucalyptus sp.* and distinguish zones of final density of plants. The planting of the study, with about 100 days, is located in a forest garden in the municipality of Butiá-RS, containing about 145 ha (fraction of a forest project), where there were randomly installed 36 sample units (su) of 299.87 m<sup>2</sup>, georeferenced with GPS navigation receiver. The number of plants attacked by cutter ants, broken, planting failures (dead trees), dead plants, forked plants, replanted plants and total number of plants per sample unit were measured. These variables were tabulated in a spreadsheet in Microsoft Excel® together with the coordinates of the sample units used to create point shapefile in the GIS ArcMap® 10. The spatial analysis was made by interpolation of data by the inverse distance weighted (IDW). Subsequently, survival, survival problems and final planting density were obtained by map algebra in the GIS. The survival or density classes were obtained by reclassification of the interpolated data, of the survival obtained, with reference to the quality parameters defined by the management of the forest garden. The area of influence of each sample unit was determined by Voronoi polygon, to verify the existence of areas with low sample intensity. With these variables, thematic maps were elaborated to better visualize, analyze and interpret the quality of planting. The survival areas or planting density obtained (quality) were named suboptimal, optimal and above the ideal, when observed, respectively, the density <38, among 38 and 42 (desired value ± 5%), and above 42 plants per sampling unit. The reference parameter was 40 plants per sample unit, corresponding to 1333 plants per ha. For these three classes, respectively, areas of 9.64; 42.43 and 93.40 ha. Failure number and survival related problems showed high correlation with plant survival, being 40 and 49% respectively, p 0.05. The number of failures and the amount of post-harvest residues changed the mean plant density in the sample units, which was above ideal in most areas. Survival, total number of plants and number of plants attacked by ants differentiated the zones of planting density. It is concluded that the precision forestry approach applied in the initial phase of the process of implantation and/or reforestation of a forest can provide a more adequate density of plants, since it indicates areas where the planting does not meet the silvicultural quality parameters, which may allow the intervention of the forest manager in specific areas of the forest at varying rates.

**Keywords:** Precision Forestry; GIS; Spatial Analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Ciclo completo de adoção de ferramentas de silvicultura de precisão.....	15
Figura 2 -	Principais maciços de <i>Eucalyptus sp.</i> plantados no Brasil em 2013 .....	18
Figura 3 -	Estrutura geral de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) .....	22
Figura 4 -	Representação de um mapa do mundo real através de estrutura matricial ou raster .....	23
Figura 5 -	Representação de um mapa do mundo real através de estrutura vetorial.....	23

### ARTIGO

Figura 1 -	Localização da área em estudo no município de Butiá, RS .....	37
Figura 2 -	Variabilidade espacial das variáveis estudadas no plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS .....	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Área ocupada com florestas de <i>Eucalyptus sp.</i> no Brasil com destaque para o estado do Rio Grande do Sul.....	20
------------	--	----

### ARTIGO

Tabela 1 -	Estatística descritiva das variáveis estudadas no plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS .....	42
Tabela 2 -	Análise de estatística descritiva das variáveis estudadas, em três classes de densidade de plantas, no plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS .....	47
Tabela 3 -	Resultado da ANOVA para o número total de plantas e sobrevivência por ua nas classes de sobrevivência obtidas para o plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS .....	48
Tabela 4 -	Resultado da comparação de médias dos postos para demais variáveis mensuradas nas ua por classes de sobrevivência obtidas para o plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS .....	49
Tabela 5 -	Matriz de correlação de Spearman das variáveis estudadas no plantio comercial de <i>Eucalyptus sp.</i> no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS.....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de preservação permanente
As	Assimetria;
Bif	Plantas bifurcadas;
Cfa	Subtropical úmido com erosão quente;
Cfb	Subtropical úmido com erosão ameno;
Co	Contagem;
Cur	Curtose;
CV	Coefficiente de variação;
C1	Classe de densidade abaixo do ideal (33-37 plantas por ua);
C2	Classe de densidade ideal (38-42 plantas por ua);
C3	Classe de densidade acima do ideal (43-50 plantas por ua);
Dms	Diferença mínima significativa;
DP	Desvio padrão;
EP	Erro padrão;
Fal	Número de falhas (covas sem plantio);
F	Teste estatístico de significância F;
F <sub>Cal</sub>	Valor de F calculado;
F <sub>Crí</sub>	Valor de F Crítico ou tabelado;
For	Plantas atacadas por formigas cortadeiras;
GNSS	Sistemas Globais de Navegação por Satélites;
GPS	Sistema de Posicionamento por Satélites;
g	Gramas;
ha	Hectare;
IDW	Ponderação pelo inverso da distância;
M	Média;
m	Metros;
Máx	Máximo;
Me	Mediana;
Mín	Mínimo;
Mo	Moda;
Morta	Número de plantas mortas;
NP	Número de plantas total;
nr	Número de repetições do tratamento;
PS	Soma dos problemas que afetam a sobrevivência;
PVAd	Argissolo vermelho-amarelo distrófico;
Queb	Número de plantas quebradas;
Rep	Número de mudas replantadas;
SGBD	Sistema gerenciador de banco de dados
Signific	Significativo;
SIG	Sistema de Informações Geográficas;
Sob	Sobrevivência;

SP	Silvicultura de Precisão;
SXe	Planossolo háplico eutrófico;
S <sup>2</sup>	Variância da amostra;
TXo	Luvissolo háplico órtico;
ua	Unidade(s) amostral(is);
Var	Variável;
W	Teste de Shapiro-Wilk;
Σ	Soma;
Σ dos Postos	Soma dos postos.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
1.1.1	Silvicultura .....	13
1.1.2	Silvicultura de precisão .....	14
1.1.3	Florestas plantadas de <i>Eucalyptus sp.</i> no Brasil e sua importância .....	16
1.1.4	Sistemas de informações geográficas .....	21
1.1.5	Análise espacial de dados geográficos.....	24
1.2	PROPOSIÇÃO .....	27
1.3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
<b>2</b>	<b>ARTIGO .....</b>	<b>30</b>
	<b>RESUMO .....</b>	<b>31</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>32</b>
	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>32</b>
	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>41</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

O atual cenário florestal não deixa dúvidas que, com o alto custo das implantações ou reformas florestais, a silvicultura e os produtores florestais necessitam a cada dia, de um elevado grau de especialização e profissionalismo, para aumentar a capacidade gerencial das empresas florestais, sendo necessária a adoção de novas técnicas para obterem rendimento a partir de suas florestas.

Apesar de todos os problemas da economia atual, o crescimento dos custos de produção das florestas, que estão diretamente ligados ao preço da terra, fertilizantes, aumentos de salários, impostos, combustíveis, insumos diversos, dentre outras fontes, o mercado florestal tem se mostrado mais resiliente frente ao atual cenário econômico. Porém, existe uma pressão muito grande sobre os produtores de florestas, quanto a maior assertividade, precisão nas suas tomadas de decisões, busca de soluções que otimizem as operações florestais para ganhar eficiência técnica e econômica.

Toda a evolução do conceito de floresta produtiva, o abastecimento das indústrias com matéria-prima em quantidade, qualidade e as inúmeras variáveis que foram sendo incorporadas ao processo, exigiram das empresas práticas mais refinadas de planejamento, que promovam redução dos custos de produção e aumento dos níveis de produtividade. Mediante este cenário surge a silvicultura de precisão (SP), que tem como objetivo solucionar problemas de maneira assertiva, eficaz e com menores custos junto aos administradores florestais, por meio de uma abordagem de gerenciamento localizada, que se baseia na utilização de dados georreferenciados, otimização de processos, qualidade dos produtos e capacitação de pessoas. As técnicas de geoprocessamento, com o apoio da geoestatística, análise espacial e da estatística clássica, têm fornecido subsídios para a identificação e a correlação das variáveis que afetam a produtividade florestal, por meio do armazenamento, tratamento, cruzamento e da sobreposição dos dados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A vantagem do uso deste sistema é que pode permitir a tomada de decisões mais assertivas, pois possibilita ter um melhor conhecimento do campo de produção, como: controle de toda situação, mais tempo livre para o administrador, melhoria do meio ambiente pelo menor uso de defensivo, maior produtividade da floresta, redução dos custos da produção, uso da informação de forma mais assertiva, tomada de decisão rápida e eficaz. As perspectivas para a silvicultura de precisão são positivas, com possibilidade de aumento da

precisão na obtenção de resultados, conforme forem se tornando melhor entendidos e mapeados os fatores que contribuem para a variabilidade de produção nas áreas florestais.

A presente dissertação está estruturada por três partes. A primeira parte é a apresentação, contendo referencial teórico, proposição e material e métodos, onde se tem descrições gerais para a elaboração da dissertação. A segunda parte relata os resultados obtidos e suas discussões na forma de um manuscrito completo (do título às referências bibliográficas), já nas respectivas normas, a ser submetido posteriormente ao periódico Revista Ambiente, editado e publicado pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO). A terceira parte é constituída pela conclusão da dissertação e referências bibliográficas utilizadas na mesma, exceto as do manuscrito.

## 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1.1 Silvicultura

A silvicultura brasileira nasceu em 1903 quando Navarro de Andrade, técnico da Companhia Paulista de Estradas de Ferro – CPEF, trouxe para o Brasil, mudas de uma espécie arbórea do gênero *Eucalyptus* originárias da Austrália, objetivando a produção de madeira para uso como dormentes e lenha, produtos necessários para o funcionamento da ferrovia (IMB, 2010). A silvicultura é a atividade que se ocupa do estabelecimento, do desenvolvimento e da reprodução de florestas, visando a múltiplas aplicações, tais como a produção de madeira, carvão, proteção ambiental, dentre outros inúmeros fins específicos (IBGE, 2009). Conforme descrito por Barcelos (2010), a silvicultura iniciou seu processo de introdução no Rio Grande do Sul a partir da política florestal brasileira, na década de 1960, com a aprovação do Código Florestal de 1965 (Lei Federal nº 4.771, 1965), proporcionando a concessão de incentivos fiscais para o plantio de espécies arbóreas e a obrigatoriedade na reposição de áreas desmatadas.

Segundo Guadagnin et al. (2009), a expansão da silvicultura está relacionada a importância econômica que esta atividade desempenha em uma dada região, lembrando que os impactos ambientais dependem de decisões sobre quais são as espécies a serem plantadas, local, proporção de espécies, com que finalidades e como são manejadas essas plantações, dentre outras questões. As mudanças no uso e ocupação da terra, principalmente o desmatamento de áreas florestas nativas e de outras formações vegetacionais nativas, são os fatores que acarretam maiores consequências para o meio ambiente, devido à contribuição das mesmas para o sequestro de carbono, na conversão em biomassa, e pela proteção as espécies

animais e vegetais, bem como pela manutenção das funções ecológicas (TRENTIN, 2014). A mesma autora ainda relata que a maior parte dos plantios arbóreos no Rio Grande do Sul são com espécies do gênero *Eucalyptus*, das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Sm e *Eucalyptus dunnii* Maiden. No entanto, o *Eucalyptus globulus* Labill tem sido alvo de interesse nos últimos anos, em função de suas características favoráveis à produção de papel.

Atualmente, a silvicultura com eucalipto na metade sul do Rio Grande do Sul vem despertando muitos questionamentos a respeito das possíveis transformações nas características do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos e na paisagem. Portanto, o gênero *Eucalyptus sp.* tornou-se alvo da discussão promovida pela indústria de celulose, papel e ambientalistas, estando de um lado o desenvolvimento da atividade silvicultural e, do outro lado, o receio aos possíveis danos ambientais irreversíveis (VALENTE, 2013).

### **1.1.2 Silvicultura de precisão**

Silvicultura de precisão para Taylor et al. (2002) é o planejamento de manejo florestal específico do local, com emprego de atividades e operações para melhorar a qualidade, produção, utilização dos produtos de madeira e aumentar a qualidade do ambiente, visando obter maior lucro, considerando três critérios: Utilizar informação geoespacial para auxiliar no manejo e no planejamento florestal; realizar operações silviculturais específicas em cada local; utilizar tecnologia avançada e específica para atender às demandas dos produtos.

O termo silvicultura de precisão tem significados diferentes para diferentes especialidades, para um melhorista florestal pode significar selecionar uma espécie/clone adequada(o) para determinado ambiente, enquanto que para um industrial que processa a madeira, pode significar manejar a floresta para a obtenção de madeira visando atender a qualidade requerida pelo mercado. Já para um ambientalista, pode significar ser a atividade capaz de manejar uma floresta para otimizar os benefícios ambientais (DICK, 2003).

Segundo Zhao et al. (2010) tais técnicas que envolvem precisão podem ser consideradas soluções para manter o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e os benefícios ambientais. Eitelwein (2013) destaca que suas técnicas estão estruturadas em um ciclo de atividades que se alicerçam na presença de variabilidade espacial de recursos nos campos produtivos, portanto, os equipamentos e as técnicas utilizadas, visam tirar proveito dessa variabilidade através da coleta e gerenciamento correto das informações. O autor ainda

ressalta que tais técnicas utilizadas possibilitam o manejo diferenciado de áreas específicas, através da coleta e georreferenciamento de informações que podem afetar a produtividade.

Dentre as tecnologias desenvolvidas, o mapeamento da produtividade pode ser considerado como o ponto de partida de um ciclo de atividades, sendo a resposta da planta às condições de manejo e de ambiente impostas as culturas (MOLIN, 2002). A silvicultura de precisão representa um novo modelo de gerenciamento, alicerçado no conhecimento *a priori* e na inclusão da variabilidade, espacial e temporal, dos fatores de produção, bem como da própria produtividade, que possibilita intervenções localizadas na floresta (MENEZES et al., 2009).

Segundo Gonçalves e Álvares (2005), a adoção da silvicultura de precisão pressupõe o uso de tecnologias da informação, como o sensoriamento remoto, os sistemas globais de navegação por satélites (GNSS) e o sistema de informações geográficas (SIG), além do uso de máquinas e implementos capazes de realizar serviços ou aplicações, localizadas e variadas, de insumos. Os autores ainda comentam que se tem conseguido maior precisão e detalhamento técnico-financeiro de recomendações silviculturais, cada vez mais específicas, resultando em melhor adequação da planta ao ambiente e na diminuição das ocorrências e dos graus de gravidade dos impactos ambientais negativos. Com isso, ocorre a otimização dos rendimentos operacionais, a racionalização no uso de insumos e a redução dos custos de produção, como se pode observar na ilustração do ciclo completo de adoção de ferramentas de silvicultura de precisão (Figura 1).

Figura 1 - Ciclo completo de adoção de ferramentas de silvicultura de precisão





Segundo Ribeiro (2004), com o avanço da tecnologia genômica, a identificação e a determinação do papel de cada gene vêm sendo buscados em projetos conduzidos em centros de pesquisas, sendo possível, com isso, acelerar o processo de melhoramento genético visando resolver problemas apresentados pelas espécies florestais plantadas comercialmente, facilitando, também assim, a introdução da silvicultura de precisão.

### **1.1.3 Florestas plantadas de *Eucalyptus sp.* no Brasil e sua importância**

Com mais de 60 espécies de eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) distribuídos pelo mundo, pertencente a família Myrtaceae, grande parte das espécies são originárias da Austrália, tendo algumas delas origem em países próximos, como Indonésia e outras ilhas (SANTOS et al. 2001), todas ocorrentes em ambiente de clima tropical ou subtropical (FERREIRA, 1990), parecidos com os tipos climáticos ocorrentes no Brasil.

Os primeiros estudos realizados com espécies deste gênero no país foram há mais de um século, pelo funcionário da Companhia Paulista de Estradas de Ferro Edmundo Navarro de Andrade (ZANATTA, SCHVARZ SOBRINHO, 2007), em seus plantios que tinham por finalidade a produção de lenha para ser utilizada em locomotivas (PEREIRA et al., 2000). Nos dias de hoje os plantios de *Eucalyptus sp.* são destinados para a produção de postes, dormentes, celulose, papel, lâmina, carvão vegetal, lenha, dentre outros produtos (BÔAS et al., 2009).

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) o setor tem uma visão estratégica voltada para geração, fornecimento de matéria-prima e produtos para a exportação, favorecendo de maneira direta, a conservação e preservação dos recursos naturais. A silvicultura, não só do *Eucalyptus sp.*, mas também de outras espécies florestais, oferece uma variada gama de produtos madeireiros e não madeireiros, tanto para investidores corporativos como para pequenos produtores que buscam fins comerciais ou de subsistência. Além de seus produtos, também disponibiliza uma série de serviços sociais e ambientais, que vão desde a reabilitação de terras degradadas, o combate à desertificação do solo, sequestro e armazenamento de carbono, até a amenização das paisagens. As florestas plantadas também contribuem para complementar e suplementar as iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa por desmatamento e a degradação florestal que ocorrem nos países em desenvolvimento. A produção da silvicultura substituiu ou já substituiu, em muitos casos, o uso ilegal das espécies nativas do Brasil, protegendo a biodiversidade e as florestas nativas de nossos biomas.

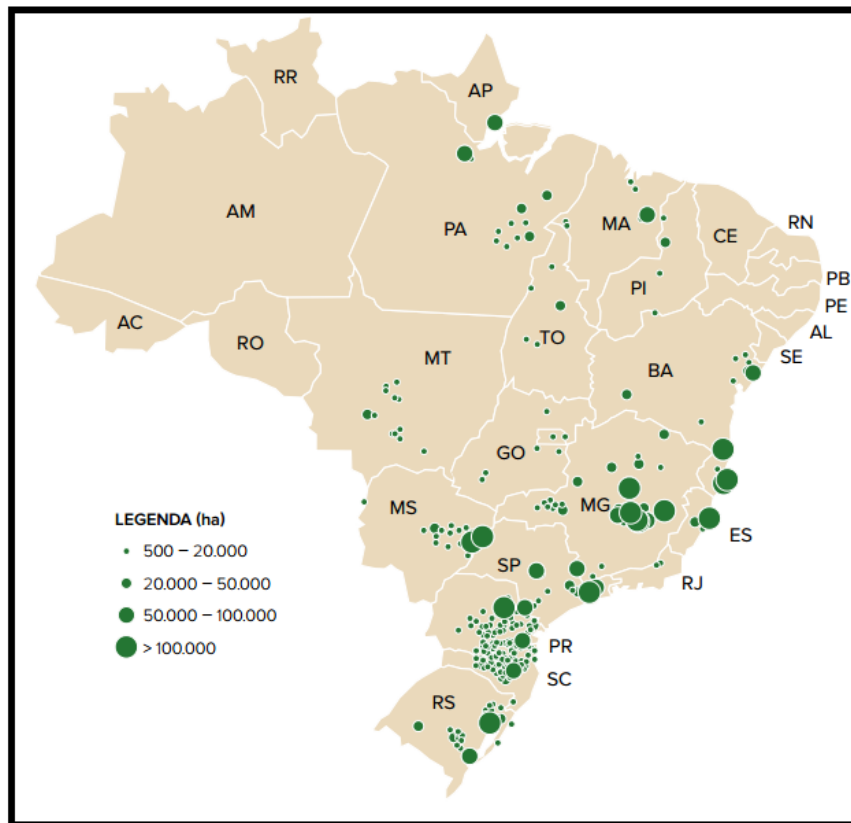
De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2014), entre 2003 e 2013, o custo, em dólar, da madeira para produção de celulose de fibra curta (*Eucalyptus* sp.) no Brasil, aumentou 93%, ocupando a quarta posição dos países com o maior custo real de produção de madeira em dólares.

No Brasil, a área florestal necessária para a produção de 1,5 milhão de toneladas de celulose por ano é de 140 mil hectares, um quinto da área necessária na Escandinávia e menos da metade do necessário para a China. Em 2014, o Brasil manteve mais uma vez sua liderança no ranking global de produtividade florestal. A produtividade média dos plantios brasileiros de *Eucalyptus* sp atingiu  $39 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$  ano e, a produtividade dos plantios de pinus foi de  $31 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$  ano (IBÁ, 2016).

Historicamente, as empresas brasileiras do setor priorizaram a manutenção de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, buscando primordialmente a melhoria da genética dos plantios e das técnicas de manejo florestal. O melhor exemplo do sucesso dessa estratégia foi o impressionante desenvolvimento da produtividade do eucalipto no Brasil, 5,7% ao ano no período de 1970 a 2008, comparativamente aos 2,6% da América Latina, 0,9% dos países desenvolvidos e 1,9% para o conjunto de países em desenvolvimento, uma vez que a produtividade do *Eucalyptus* sp. no Brasil cresceu por volta de 0,3% ao ano, entre 2008 e 2014 (IBÁ, 2016).

Na Figura 2 estão ilustradas as distribuições dos plantios das principais empresas brasileiras por classe de tamanho nos estados do Brasil.

Figura 2 - Principais maciços de *Eucalyptus sp.* plantados no Brasil em 2013



Fonte: Pöyry (2013), citado em Ibá (2014).

Conforme Ibá (2014), as áreas plantadas com árvores no Brasil atingem 7,60 milhões de hectares em 2013, crescimento de 2,8% na comparação com os 7,393 milhões de hectares registrados em 2012. Os plantios de árvores de *Eucalyptus sp.* representaram 72,0% desse total, as árvores de *Pinus* 20,7% e *Acacia*, *Tectona*, *Hevea* e *Senegalia* estão entre as outras espécies plantadas no Brasil. A área ocupada com árvores de *Eucalyptus sp.* totalizou 5.473.176 hectares, representando crescimento de 3,2% (169.012 ha) frente ao indicador de 2012. Segundo dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura, em 1980, a área de plantio de *Eucalyptus sp.* para celulose e papel era de 8.644 ha, já em 2001, eram de 130.132 ha (BRACELPA, 2002 citado por SBS, 2016). A área ocupada com árvores de pinus em 2013 totalizou 1.570.146 hectares, valor 0,5% (7.364 ha) superior ao indicador de 2012. Em 1980, a área de plantio de *Pinus* para celulose e papel era de 12.560 ha, e mesmo em 2001, ainda era de 18.114 ha (BRACELPA, 2002 citado por SBS, 2016), mostrando ter um crescimento muito inferior ao do *Eucalyptus sp.*

Segundo dados levantados pela Ibrá (2014), a área ocupada com árvores plantadas no Brasil é composta pelos segmentos de celulose e papel (32%), produtores florestais independentes (26%), siderurgia a carvão vegetal (15%), painéis de madeira (6%), além das áreas de investidores institucionais e pertencentes a outros segmentos, principalmente ao agronegócio.

No estado do Rio Grande do Sul a área plantada com *Eucalyptus sp.* para celulose e papel no ano de 2001 era de 42.423 ha (BRACELPA, 2002 citado por SBS, 2016). No período de 2006 à 2008, a área ocupada por árvores deste gênero teve um constante crescimento (Tabela 1). Já em 2009, ocorreu um decréscimo de 5.340 ha, em relação ao ano anterior. No ano seguinte, as áreas plantadas com *Eucalyptus sp.* tornaram a crescer, chegando a ter um aumento de aproximadamente 71%, de 2006 a 2013 (IBÁ, 2014).

Tabela 1 - Área ocupada com florestas de *Eucalyptus sp.* no Brasil com destaque para o estado do Rio Grande do Sul

ESTADO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MINAS GERAIS	1.181.429	1.218.212	1.278.210	1.300.000	1.400.000	1.401.787	1.438.971	1.404.429
SÃO PAULO	915.841	911.908	1.001.080	1.029.670	1.044.813	1.031.677	1.041.695	1.010.444
MATO GROSSO DO SUL	119.319	207.687	265.250	290.890	378.195	475.528	587.310	699.128
BAHIA	540.172	550.127	587.610	628.440	631.464	607.440	605.464	623.971
RIO GRANDE DO SUL	184.245	222.245	277.320	271.980	273.042	280.198	284.701	316.446
ESPÍRITO SANTO	207.800	208.819	210.410	204.570	203.885	197.512	203.349	221.559
MARANHÃO	93.285	106.802	111.120	137.360	151.403	165.717	173.324	209.249
PARANÁ	121.908	123.070	142.430	157.920	161.422	188.153	197.835	200.473
MATO GROSSO	113.770	114.854	132.922	147.378	150.646	175.592	184.628	187.090
PARÁ	115.806	126.286	136.290	139.720	148.656	151.378	159.657	159.657
GOIÁS	98.765	102.032	113.177	115.286	116.439	118.636	115.567	121.375
TOCANTINS	13.901	21.655	31.920	44.310	47.542	65.502	109.000	111.131
SANTA CATARINA	70.341	74.008	77.440	100.140	102.399	104.686	106.588	107.345
AMAPÁ	58.473	58.874	63.310	62.880	49.369	50.099	49.506	57.169
PIAUÍ	-	-	-	-	37.025	26.493	27.730	28.053
OUTROS	27.491	31.588	27.580	28.380	4.650	9.314	18.838	15.657
TOTAL	3.862.546	4.078.168	4.456.069	4.658.924	4.900.949	5.049.714	5.304.164	5.473.176

Fonte: ABRAF (2013), adaptado por Pöyry citado em Ibá 2014

#### 1.1.4 Sistemas de informações geográficas (SIG)

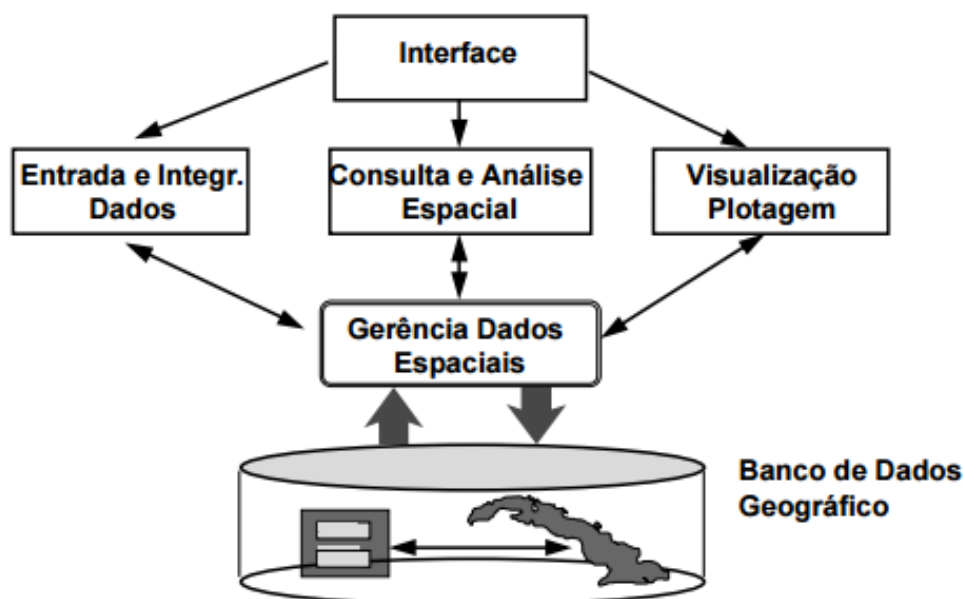
Segundo Fitz (2008) a sigla SIG é utilizada para designar Sistema de Informações Geográficas, que pode ser definido como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

Os SIG são importantes geotecnologias, especialmente quando aplicadas à Ciência Florestal, pois são o meio onde o geoprocessamento propriamente dito ocorre, ou seja, onde as análises espaciais necessárias para a utilização dos dados georreferenciados coletados na floresta podem ser realizadas para executar parte de um projeto de floresta ou silvicultura de precisão. Alguns trabalhos tem mostrado isso, tais como a determinação de zonas de produção de uma população de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul, desenvolvido por Amaral (2014). De acordo com Rufino et al. (2006) a abordagem via silvicultura de precisão será de fundamental importância para a otimização da produtividade da floresta e a conservação dos recursos naturais, inclusive concernente à preservação do solo.

Para Longley et al. (2013) atualmente o rótulo SIG está ligado a muitas coisas, incluindo uma coleção de ferramentas de *software* para realizar certas funções bem definidas (*software* de SIG), a representação digital de vários aspectos do mundo geográfico na forma de banco de dados (dados em SIG), uma comunidade de pessoas que usam e talvez defendam o uso dessas ferramentas para vários propósitos (comunidade de SIG), e a atividade de uso do SIG para solucionar problemas ou avançar na Ciência (fazer SIG).

Segundo Fitz (2008) os SIG podem possuir constituições e funções diferenciadas, mas podem apresentar uma estrutura genérica, quando concebido para fins diversos. A Figura 3 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG, cada sistema em função de seus objetivos e necessidades podem implementar estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes em um SIG.

Figura 3 - Estrutura geral de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)



Fonte: FITZ (2008).

A utilização de dados em SIG pressupõe a existência de um banco de dados georreferenciados, ou seja, de dados portadores de registros referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. A manipulação desses dados dá-se por meio de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD). O SGBD de um SIG necessita ser "alimentado" com dados espaciais e dados alfanuméricos, vinculados entre si (FITZ, 2008).

Os dados espaciais são aqueles que podem ser representados de forma gráfica, ou seja, imagens, mapas temáticos ou planos de informações, registro em tabelas, dentre outros. Existem dois tipos básicos de estruturas de armazenamento de dados em SIG, matricial e vetorial. Os dados matriciais são armazenados em uma representação matricial, onde o espaço é dividido em uma malha retangular de células (geralmente quadradas), essas células também são chamadas de *pixels* ou raster, cada uma representa um endereço identificado por coordenadas de linhas e colunas representando o mundo real. Na Figura 4 está ilustrada a forma mais comum de originar esses dados, que é através de satélites que capturam dados e os enviam à Terra para armazenamento e posterior análise (LONGLEY et al., 2013).

Figura 4 - Representação de um mapa do mundo real através de estrutura matricial ou raster



Fonte: Silva (2004).

Já os dados vetoriais são constituídos por estruturas de armazenamento vetoriais que representam mapas através de coordenadas x e y, ou longitude e latitude, dentre outras formas de coordenadas, onde os elementos e/ou fenômenos do mundo real são localizados por pontos, linhas e/ou polígonos (Figura 5) (SILVA, 2004). Esta estrutura permite que todas as posições, comprimentos, dimensões e certas relações topológicas possam ser definidos exatamente (MIRANDA, 2015; LONGLEY et al., 2013), por isso neste modelo as coordenadas são consideradas matematicamente exatas (BURROUGH, 1986).

Figura 5 - Representação de um mapa do mundo real através de estrutura vetorial



Fonte: Silva (2004).

No entanto, em ambas as estruturas de armazenamento devem estar presentes os atributos, que são os dados alfanuméricos utilizados para fazer descrições diversas. São dados constituídos por caracteres (letras, números ou sinais gráficos) que podem ser armazenados em tabelas, as quais podem formar um banco de dados. A componente alfanumérica se relaciona com a componente gráfica através de identificadores comuns, denominados de geocódigos ou outros campos-chave comum a duas ou mais tabelas. A organização dos atributos é feita de acordo com técnicas convencionais de banco de dados. A maioria dos SIG



utilizam o modelo relacional, baseado na estruturação dos dados em tabelas, onde, cada linha ou registro corresponde a um elemento geográfico ou objeto, representado graficamente na camada. Já as colunas ou campos correspondem aos atributos destes elementos (BARBOSA, 1997).

Em um sistema de informação geográfica a introdução de dados pode se dar por sensoriamento remoto (consiste na utilização de ferramentas, como satélites e radares, para a captação de informações e imagens acerca da superfície terrestre, o qual também engloba a aerofotogrametria, analógica ou digital, para a obtenção de fotografias aéreas), por receptores GNSS para aquisição de coordenadas das mais variadas feições ou elementos na superfície terrestre, muito utilizada para a confecção de planilhas de dados a serem inseridas posteriormente no SIG, e por processos de digitalização e vetorização, geralmente de mapas e/ou cartas topográficas analógicos, acesso à distintas bases de dados, das quais podem ser obtidos arquivos em diversos formatos e configurações acessados pela internet (PENA, 2016; LONGLEY et al., 2013).

### **1.1.5 Análise espacial de dados geográficos**

As características dessa função referem-se às potencialidades que os SIG têm de realizar simultaneamente análises de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos. Essas aplicações são fundamentais para esse tipo de sistema, tornando-o diferenciado dos *softwares* gráficos e de outros sistemas de informação (FITZ, 2008).

Para Molin et al. (2015), dentro da abordagem da agricultura de precisão, para a análise de dados e obtenção de mapas em SIG, é necessário que ocorram em várias etapas tais como o planejamento da grade amostral (geração da grade para que os pontos estabeleçam a mais fiel representação amostral da área), análise espacial exploratória dos dados (realizar análise descritiva dos dados coletados), modelagem do comportamento espacial de cada atributo (avaliação espacial de cada atributo na área de estudo), obtenção das superfícies interpoladas (estimativa de valores não amostrados, com base na vizinhança amostrada), análise das superfícies obtidas (são realizadas interpretações visuais e/ou numéricas e estatísticas), recomendação da intervenção (integrar informações contidas em diferentes mapas, assim, gerando novos mapas, voltados para intervenções na área em estudo – recomendação técnica).

Segundo Aronoff (1989), existem quatro grandes categorias de funções a considerar na análise espacial em SIG:

➤ Funções de acesso ou pesquisa, classificação e medição: através deste conjunto de funções é possível ter acesso à informação gráfica e alfanumérica, possibilitando a realização de operações de *Query-Display* (pesquisa gráfica e pesquisa por atributos). Ao se efetuar um processo de análise espacial deste tipo só os atributos alfanuméricos podem ser criados e alterados;

➤ Funções de superposição de mapas (*overlay*): este tipo de função de análise espacial constitui, em termos estruturais, um processo semelhante à manipulação de dados relacionais em tabelas e permite a realização de análises segundo uma aproximação da álgebra booleana ou da teoria dos conjuntos;

➤ Funções de análise de vizinhança: neste grupo as operações usualmente mais desenvolvidas são as de pesquisa, topográficas e de interpolação. A definição de funções de vizinhança envolve a análise das características da área envolvente a um local específico. Neste caso, é necessário definir o domínio de aplicação e o tipo de função a aplicar numa sequência de análise específica;

➤ Funções de análise de conectividade: estas funções são características da modelagem de dados matriciais e caracterizam-se por permitir a descrição e a modelagem de processos de difusão e influência espacial. Também neste caso é necessário definir o domínio da aplicação deste tipo de função em relação à vizinhança de células, recorrendo à topologia implícita de uma estrutura em quadrícula. A definição e a simulação de processos de movimento, difusão e acumulação têm de ser explicitadas na realização de uma operação de análise espacial.

A interpolação espacial é uma operação comum em SIG. Embora ela seja frequentemente usada de forma explícita na análise, ela também é usada implicitamente em várias operações, como na preparação de uma visualização de curvas de nível, na qual a interpolação espacial é feita sem um envolvimento direto do usuário. A interpolação espacial é um processo de aproximação inteligente na qual o pesquisador (e o SIG) busca fazer uma estimativa razoável dos valores de um campo contínuo em locais que não foram feitas medidas em campo. Todos os métodos de interpolação são baseados na suposição que pontos amostrados mais próximos são mais semelhantes do que pontos mais distantes, assim, tendo em vista a primeira lei de Tobler, que diz que “coisas próximas estão mais relacionadas entre si do que coisas mais distantes” (LONGLEY et al., 2013).

Segundo Longley et al. (2013) existem vários tipos de interpoladores, tais como, geoestatísticos e não-geoestatísticos, baseados na distância entre as observações ou baseados na densidade de observações, dentre outros. O método de interpolação mais utilizado é o da

ponderação pelo inverso da distância, recomendado para áreas com alta densidade de unidades amostrais. Esse método é recomendado para estimar superfícies com variações suaves e deve ser evitado na espacialização de conjuntos amostrais com tendência (ESRI, 2008). A Ponderação pelo Inverso da Distância ou IDW é um método de interpolação puramente matemático, no qual os valores desconhecidos são estimados a partir dos valores conhecidos, ou seja, dados amostrais (MIRANDA, 2005). Na medida em que aumenta a distância, o peso de contribuição (p) desse valor em relação ao ponto a ser calculado diminui. Maiores valores de “p” irão atribuir uma maior influência para valores mais próximos ao ponto interpolado (ZONETE, 2009).

No processo de interpolação em SIG os dados entram no processo na forma de arquivos de pontos, e após o processamento se têm saídas na forma de arquivos matriciais, ou seja, superfícies interpoladas, as quais podem retroalimentar um processo cíclico de análise de dados. Procedimentos como álgebra de mapas podem utilizar essas saídas (MIRANDA, 2005; LONGLEY et al., 2013).

A álgebra de mapas é utilizada quando se tem de usar dados de vários mapas (planos de informação) ao mesmo tempo. Isso é possível devido à sobreposição geográfica dos mapas que devem apresentar uma mesma referência espacial. Com os atributos podem ser realizados vários tipos de cálculos e gerar novos valores de atributos que serão armazenados em novos arquivos de saída, ou seja, os resultados das operações aplicados aos mapas de entrada sendo armazenados em novos mapas (MIRANDA, 2005; LONGLEY et al., 2013). O usuário precisa apenas especificar as operações espaciais a serem usadas, os nomes dos planos de informações de entrada e dos planos de saída (resultado). As operações serão realizadas célula a célula em uma matriz de dados (mapas/planos de informação) e o resultado será armazenado em um novo plano ou mapa (MIRANDA, 2005).

Este procedimento pode auxiliar no melhor entendimento da floresta, ao permitir o uso integrado de dados de diversas variáveis durante a análise espacial. Amaral (2014) utilizou álgebra de mapas para auxiliar na caracterização de três zonas de produção em população de *Araucaria angustifolia*, em Tapera, RS. Rufino et al. (2006) gerou mapas para definir os padrões de variabilidade de diferentes variáveis dendrométricas e do solo, buscando verificar a existência de correlações entre as variáveis analisadas, visando definir a posição ideal de locação das parcelas contínuas de monitoramento do crescimento e da produção realizado pelo inventário florestal.

Polígonos de Voronói ou de Thiessen é outro método para análise espacial de mapas, elaborados originalmente para interpolar dados de precipitação. É utilizada a medida mais

próxima para interpolar pontos, em torno de cada ponto amostrado é gerada uma estimativa constante dentro do polígono, podendo haver grandes variações quanto aos limites dos polígonos, assim, tem-se uma rede de polígonos irregulares dependentes da distribuição dos pontos de observação e dos valores mensurados para as variáveis nos mesmos. Esse método considera que as informações do ponto mais próximo para locais não amostrados, são as melhores informações para representar as características desses. Como método de interpolação deixa a desejar, mas é muito eficiente para mostrar a área de influência de pontos ou unidades amostrais ou de observação sobre a população que está sendo amostrada (LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

## 1.2 PROPOSIÇÃO

A presente dissertação tem como propósito levantar as características qualitativas de um povoamento florestal, mapear a qualidade do plantio, aplicando análise espacial em sistema de informação geográfica, para a definição de zonas de densidade de plantas e classes de sobrevivência de plantas.

Assim, essa dissertação tem como objetivos específicos:

- Realizar análises de estatística descritiva entre as variáveis para auxiliar no entendimento de seu comportamento;
- Realizar um mapeamento das variáveis definidoras da qualidade de plantio comercial de *Eucalyptus sp.*, a partir de um inventário florestal georreferenciado;
- Interpolar em SIG, dados das variáveis mensuradas a campo nas unidades amostrais georreferenciadas, para obter superfícies interpoladas que descrevam a variabilidade espacial das mesmas;
- Utilizar métodos e técnicas de análise espacial de dados geográficos, tais como álgebra de mapas, polígonos de Voronói e reclassificação de dados para a construção dos mapas de variabilidade espacial das variáveis mensuradas e obtidas por cálculo;
- Calcular os problemas de sobrevivência de plantas, obter a sobrevivência de plantas e classificar a densidade de plantas em três classes (abaixo do ideal, ideal e acima do ideal), a partir de parâmetros do controle de qualidade para o plantio florestal;
- Definir zonas de densidade de plantas ou classes de sobrevivência de plantas para a floresta em estudo, bem como suas estatísticas;

- Realizar análise de estatística descritiva e correlação de Pearson e Spearman entre as diferentes classes de densidade obtidas.

### 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O plantio florestal em estudo localiza-se no município de Butiá – RS, onde foram utilizados três tipos de materiais genéticos de *Eucalyptus sp.*, distribuídos em aproximadamente 145 hectares, separados em oito diferentes talhões. Quando foi realizado o inventário florestal georreferenciado, o plantio possuía aproximadamente 100 dias.

Foram utilizadas 36 unidades amostrais (ua) distribuídas de forma aleatória a cada 4,3 ha em uma grade irregular devido ao formado dos talhões e a grande quantidade de Áreas de Preservação Permanentes (APP). Foi georreferenciado o centro de cada ua com um receptor GPS de navegação posicionado sobre um piquete, com o qual foram criados pontos definidos por coordenadas UTM no sistema geodésico de referência mundial WGS84. As ua foram delimitadas através de um raio com 9,77 m, mensurado com uma trena de 50 m, totalizando uma área de 299,87m<sup>2</sup>, onde, foi preconizado conter 40 plantas (número ideal de plantas), sendo aceitável uma variação de  $\pm 5\%$ , podendo assim conter entre 38 e 42 plantas por unidade amostral. Os levantamentos foram realizados em três etapas, onde foram instaladas e mensuradas 12 unidades amostrais em cada uma delas.

As variáveis mensuradas foram obtidas pela contagem do número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, número de plantas quebradas, número de falhas de plantio, número de plantas mortas, número de plantas bifurcadas, número de mudas replantadas e número total de plantas. No campo os dados foram tabulados em uma planilha de forma manual. No laboratório os dados coletados foram inseridos em planilha eletrônica do Microsoft Excel<sup>®</sup>, juntamente com as coordenadas das ua, com os quais foi criado um banco de dados espaciais para gerar as estatísticas descritivas e os mapas de interpolação, no SIG ArcMap 10, pelo método ponderação pelo inverso da distância (IDW). No SIG foram também realizadas álgebra de mapas, para obtenção dos problemas de plantio, sobrevivência, reclassificação de dados matriciais, para a obtenção das classes de sobrevivência ou de densidade de plantas, e uso de polígonos de Voronói, para verificação da área de influência das ua sobre o plantio de *Eucalyptus sp.*, inferindo a intensidade amostral utilizada no plantio. Ainda na planilha eletrônica foram realizadas análises de estatística descritiva geral, para os dados amostrais, e posteriormente para os dados dos problemas de plantio após agrupamento das ua por classe de sobrevivência.

Após obtidos os limites das classes de sobrevivência, foram agrupadas as ua nas mesmas, e realizado Anova (análise de variância) com teste de comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p= 0,05$ ) para verificar se existe diferença mínima significativa entre as variáveis número de falhas, número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, número de plantas quebradas, número de plantas mortas, número total de plantas por ua e sobrevivência. Precedendo a ANOVA, foram realizados, o teste Bartlett ( $p= 0,05$ ) para homogeneidade de variâncias e o teste de Shapiro-Wilk ( $p= 0,05$ ) para normalidade dos dados. Quando os respectivos testes não foram atendidos, utilizou-se a estatística não paramétrica, com o teste de Kruskal-Wallis. O programa utilizado foi o Assistat<sup>®</sup> 7.7 beta.

## 2 ARTIGO

Análise espacial aplicada às variáveis definidoras da qualidade de plantio e tratos silviculturais em área comercial de *Eucalyptus sp.* na região Carbonífera do Rio Grande do Sul.

**Rafael Marques Nascimento<sup>1</sup>; Cássio Thomas da Silveira<sup>2</sup>; Eliziéle Nunes Paroli<sup>3</sup>; Lúcio de Paula Amaral<sup>4</sup> (\*)**

<sup>1, 2</sup> Engenheiro Florestal; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio 70, Bloco F, Sala 211 A, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: {Nascimento} eng.nascimento@hotmail.com; {Silveira} eng.flor.cassio@gmail.com.

<sup>3</sup> Tecnóloga em Geoprocessamento; Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio 70, Bloco F, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: eparoli00@gmail.com.

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Rural, CCR, UFSM/ Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio 44, Bloco J, 2º piso, Sala 213, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: amaralufsm@gmail.com; (\*) Autor para correspondência.

**A ser submetido ao periódico Revista Ambiente, editado pela UNICENTRO, Guarapuava-PR.**

**Análise espacial aplicada às variáveis definidoras da qualidade de plantio e tratamentos silviculturais em área comercial de *Eucalyptus sp.* na região Carbonífera do Rio Grande do Sul**

**Spatial analysis applied to the variables defining the quality of planting and silvicultural treatments in commercial area of *Eucalyptus sp.* in the Carboniferous region of Rio Grande do Sul**

Rafael Marques Nascimento<sup>1</sup>

Cássio Thomas da Silveira<sup>2</sup>

Eliziéle Nunes Paroli<sup>3</sup>

Lúcio de Paula Amaral<sup>4 (\*)</sup>

**Resumo**

A Silvicultura de Precisão aliada à qualidade de implantação de uma floresta é uma importante ferramenta para planejar intervenções, em curto prazo, de forma específica e regionalizada, em plantios comerciais. O objetivo deste trabalho foi determinar zonas de densidade de plantas ou classes de sobrevivência em um plantio comercial de *Eucalyptus sp.*, com uso de interpolação e análise espacial, em sistema de informação geográfica, de variáveis relativas à qualidade do plantio florestal. A floresta em estudo contém aproximadamente 144 ha, localizada em Butiá-RS, onde foram instaladas 36 unidades amostrais, as quais foram georreferenciadas e mensurados o número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, quebradas, falhas no plantio, número de plantas mortas, bifurcadas, número de mudas replantadas e número total de plantas por unidade amostral. No SIG Arc Map<sup>®</sup> 10 foram interpoladas estas variáveis pelo Inverso da Distância Ponderada (IDW). Os problemas de sobrevivência, sobrevivência e classes de sobrevivência, segundo parâmetros do controle de qualidade foram obtidos por álgebra de mapas. Polígonos de Voronói foram utilizados para verificar a área de influência das unidades amostrais. Elaboraram-se dez mapas de variabilidade espacial do plantio, sendo definidas as classes de sobrevivência abaixo do ideal, ideal e acima do ideal, com número de plantas por unidade amostral, respectivamente, menor que 38, entre 38 e 42 e maior que 42. Observou-se que a variável falha de plantio foi a mais frequente e intensa, porém devido a grande quantidade de resíduos florestais pós-colheita a densidade de plantas ficou elevada em função do grande adensamento de mudas. A densidade acima do ideal representa 93,4 ha da área em estudo, tendo até 50 plantas por unidade amostral, podendo causar problemas de crescimento das árvores no

<sup>1, 2</sup> Engenheiro Florestal; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio 70, Bloco F, Sala 211 A, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: {Nascimento} eng.nascimento@hotmail.com; {Silveira} eng.flor.cassio@gmail.com.

<sup>3</sup> Tecnóloga em Geoprocessamento; Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio 70, Bloco F, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: eparoli00@gmail.com.

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Rural, CCR, UFSM/ Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da UFSM; Av. Roraima, nº 1000, Prédio



44, Bloco J, 2º piso, Sala 213, CEP: 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil; E-mail: amaralufsm@gmail.com; (\*) Autor para correspondência.

futuro e necessidade de desbaste. O número de plantas por unidade amostral, sobrevivência e número de plantas atacadas por formigas cortadeiras foram diferentes nas zonas obtidas. Conclui-se que a abordagem da silvicultura de precisão foi satisfatória para avaliar a qualidade do plantio florestal.

**Palavras-chave:** silvicultura de precisão; interpolação; SIG.

### **Abstract**

The Precision Forestry allied to the quality of forest implantation is an important tool for planning short-term interventions in a specific and regionalized way, in commercial plantations. This study aimed to determine areas of plant density or survival classes in a commercial plantation of *Eucalyptus sp.*, using interpolation and spatial analysis, in a geographic information system of variables related to the quality of the forest plantation. The studied forest contains about 144 ha, located in Butiá-RS, where 36 sample units were installed, which were georeferenced and measured the number of plants attacked by cutter ants, broken, planting failure, number of dead plants, bifurcated, number of seedlings replanted and total number of plants per sample unit. In the GIS ArcMap® 10 these variables were interpolated by the Inverse Distance Weighted (IDW). The problems of survival, survival and survival classes according to quality control parameters were obtained by map algebra. Voronoi polygons were used to verify the area of influence of the sample units. Ten spatial variability maps of the planting were elaborated, the survival classes below ideal, ideal and above ideal, were defined, with number of plants per sample unit, respectively, less than 38, among 38 and 42 and greater than 42. It was observed that the variable planting failure was the most frequent and intense, but due to the large amount of post-harvest forest residues the density of plants was high due to the large density of seedlings. The density above the ideal represents 93.4 ha of the studied area, having up to 50 plants per sample unit, being able to cause tree growth problems in the future and need for thinning. The number of plants per sample unit, survival and number of plants attacked by leaf cutting ants were different in the zones obtained. It is concluded that the precision forestry approach was satisfactory to evaluate the quality of the forest plantation.

**Keywords:** precision forestry; interpolation; GIS.

## **INTRODUÇÃO**

A silvicultura brasileira é uma das mais produtivas do mundo, baseada principalmente no plantio dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, dentre outros de menor expressão. O gênero *Eucalyptus* possui várias espécies que podem ser indicadas para os programas de reflorestamento no Brasil, em razão do seu rápido crescimento, boa adaptação ecológica e

diversidade de usos madeireiros e não madeireiros (BERGER et al., 2002). Segundo Carvalho et al. (1998) o *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden é uma espécie mais sensível as condições ambientais, enquanto o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake é resistente, porém apresenta restrições de crescimento sob condições de alta umidade (HARDIYANTO, 2003). De acordo com Montanari et al. (2007) o cruzamento de *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus grandis* gera o híbrido *Eucalyptus urograndis*, que é um dos materiais genéticos mais utilizados no Brasil, por apresentar adaptações as diferentes características edafoclimáticas do país e possuir excelentes características da madeira para a indústria de celulose e de carvão vegetal.

Uma das maiores evoluções da silvicultura brasileira foi a adoção de mudas clonais. As florestas que utilizam plantas de *Eucalyptus sp.* Na forma de clones conseguem manter as características favoráveis, evitando a variabilidade encontrada em árvores obtidas a partir de sementes, para isso se recorre à propagação vegetativa (HIGASHI et al., 2005). Segundo Pinto et al. (2011) as diferenças quanto à eficiência nutricional dos clones de *Eucalyptus*, na fase de mudas, sugerem a possibilidade de seleção de genótipos dessa cultura, para condições distintas de fertilidade do solo, permitindo sua alocação em solos com distintas características nutricionais e também físicas.

No entanto, a silvicultura brasileira pode evoluir ainda mais com o advento da abordagem da silvicultura de precisão (SP) ou floresta de precisão, de maneira análoga à agricultura de precisão. O potencial de impacto econômico e ambiental da SP no Brasil é diretamente proporcional à área de florestas plantadas passíveis de manejo. O manejo de cada árvore ou sítio/microsítio florestal, pode ser realizado de acordo com as características que se encontram em um povoamento, cabendo aqui destacar as características que definem a silvicultura de precisão apresentadas por Taylor et al. (2002), sendo “... planejar e conduzir atividades e operações de manejo florestal e de sítio específico para melhorar a qualidade e utilização da madeira, reduzir perdas, aumentar lucros e manter a qualidade do ambiente”. Ao se levar em conta a produção árvore a árvore, trabalha-se em um nível refinado na silvicultura de precisão. O conceito SP pode ser aplicável tanto para florestas plantadas como para florestas naturais (AMARAL et al., 2015) ou exploradas com um determinado regime de manejo florestal. A silvicultura de precisão nada mais é do que um conceito de gerenciamento das atividades silviculturais, que se baseiam na coleta e análise de dados geográficos ou espaciais da floresta, com exatidão e precisão adequada para a utilização destes dados no planejamento e na implantação dos tratamentos silviculturais e/ou manejo da floresta (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

A silvicultura no Brasil não possui, hoje em dia, equipamentos eficientes ou adequados para suprir as necessidades desta atividade em áreas de reformas florestais, o que resulta em uma baixa qualidade nos trabalhos realizados. Mesmo assim, consegue uma alta produtividade de florestas plantadas para fins madeireiros. A exceção pode ser observada na qualidade da colheita florestal, normalmente realizadas em muitos talhões florestais com o uso de equipamentos importados, altamente eficientes (BENEDETTI, 2012). Uma importante contribuição da SP seria a disponibilização de ferramentas de gerenciamento, a exemplo dos mapas de produtividade e mapas dos fatores de produção, os quais possibilitam obter as relações de causa e efeito que condicionam a variabilidade da produtividade nas florestas. Estas ferramentas podem ser hoje consideradas dispendiosas, porém são indispensáveis para o manejo florestal de sítio específico e/ou para a silvicultura de precisão (MAEDA et al., 2014).

Ribeiro (2004) menciona diversas áreas que podem ser beneficiadas pelo manejo florestal com base nos princípios da silvicultura de precisão. Seriam exemplos, a avaliação do potencial produtivo do solo e de susceptibilidade à erosão, visando o delineamento de glebas homogêneas, a aplicação de insumos, o monitoramento da “saúde dos talhões” e, ou, das árvores, de maneira individual, a otimização da sequência de exploração, tendo em vista os mapas de produtividade e as condições climáticas e de solo, o mapeamento dos talhões, possibilitando a redefinição de seus limites por desmembramento ou agregação, a prevenção e combate a incêndios florestais, o manejo de paisagens, mediante a formação de mosaicos, com aprimoramento dos critérios para estabelecimento dos plantios, evitando-se a proximidade de talhões com mesmo clone e formação de corredores de corte raso, o atendimento à legislação, no que se refere ao mapeamento das áreas de preservação permanente e de reserva legal, e a criação de corredores que conectam fragmentos florestais nativos entre si, dentre outras.

Para subsidiar a silvicultura de precisão existem importantes fontes de aquisição de dados que podem ser usados para descrever a variabilidade espacial das florestas ou a variabilidade espacial dos atributos que condicionam este comportamento, tais como dados do inventário florestal de unidades amostrais (ua) georreferenciadas e mapas temáticos dos atributos químicos e físicos do solo. Outra importante fonte de dados seriam os equipamentos de colheita florestal, que geram dados que possibilitam relacionar o volume de madeira produzido com as coordenadas dos locais onde as árvores foram colhidas, utilizando o posicionamento por satélites artificiais que compõem os sistemas globais de navegação por satélites (GNSS), conseqüentemente, poderá haver coleta de dados da produtividade e sobre os fatores que podem levar a uma significativa variabilidade espacial da mesma. Para a

relação causa e efeito, sobre a variabilidade na produtividade, a coleta de dados geoespacializados, contendo informações sobre todos os fatores envolvidos no crescimento das árvores, deve ser realizada num nível de detalhe que permita evidenciar a possível variabilidade espacial no talhão de cada fator envolvido (MAEDA et al., 2014).

Na abordagem da silvicultura de precisão ou floresta de precisão existem alguns trabalhos que descrevem a variabilidade espacial da floresta em mapas temáticos, gerados por métodos e técnicas de análise espacial, de variáveis como o número de covas (levantamento de falhas no plantio) e número de fustes (número de plantas), dentre outras variáveis dendrométricas e atributos físicos e químicos do solo. Rufino et al. (2006) amostraram e mapearam dados destas naturezas em duas florestas de *Eucalyptus sp.*, componentes de dois projetos florestais distintos na região de Luiz Antônio, estado de São Paulo. Estes plantios possuíam entre 0,8 e 1,5 anos de idade respectivamente, sendo os dados utilizados para demonstrar a variabilidade espacial e a relação destas variáveis ao longo dos talhões com interpolação por krigagem ordinária pontual. Já para o monitoramento de formigas cortadeiras em florestas de *Eucalyptus sp.*, a análise espacial foi utilizada para detectar a variabilidade espacial entre os ninhos em plantios comerciais na região da Mata Atlântica em Minas Gerais, sendo detectado dependência espacial para esta variável com uso da geoestatística (MENDONÇA, 2008).

O processo de criação de mapas, tanto na agricultura de precisão quanto na silvicultura de precisão, muitas vezes depende da interpolação. De acordo com Miranda (2015), a interpolação é o processo de determinar valores desconhecidos ou não amostrados de atributo de um campo contínuo, no tempo ou no espaço, com uso de valores conhecidos ou amostrados pontualmente. De acordo com Molin (2015) a interpolação de dados está baseada na premissa, de que em geral as observações mais próximas terão uma maior probabilidade de serem semelhantes do que as observações mais afastadas – Primeira Lei de Tobler (LONGLEY et al., 2013). Essa premissa é realizada basicamente em duas partes, sendo a primeira, a partir da definição de um relacionamento de vizinhança, ou seja, saber quais são os pontos vizinhos apropriados para estimarem os pontos não amostrados, e, a segunda, pela definição do modelo matemático que estimará os valores desconhecidos (interpolação). Essas funções podem ser facilmente executadas por um sistema de informação geográfica (SIG) (LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Segundo Longley et al. (2013) existem vários tipos interpoladores, tais como, geoestatísticos e não-geoestatísticos, baseados na distância entre as observações ou baseados na densidade de observações, dentre outros. No entanto, um dos métodos mais conhecidos de

interpolação é a ponderação pelo inverso da distância (IDW). Este método utiliza a Lei de Tobler, para realizar estimativas de medidas desconhecidas com uso de médias ponderadas das medidas conhecidas, obtidas por amostragem em pontos próximos. O valor interpolado para cada ponto de interesse é a média dos valores observados, calculado e ponderado por um peso “ $w$ ”, que é inversamente proporcional às distâncias que separam os pontos de observação. Este método é considerado exato, por devolver o valor amostral para o atributo “ $z$ ” referente às coordenadas dos pontos da malha amostral, sendo aplicado para dados razoavelmente independentes das suas localizações vizinhas, ou seja, sem tendência regional. Seus pontos positivos são a praticidade, a não necessidade de ajustes de semivariogramas experimentais, e também não exige alto número de pontos como na geoestatística. Seus pontos negativos são o não uso de pesos negativos, fazendo com que este interpolador se restrinja a retornar valores não amostrados sempre dentro dos limites dos valores amostrais. Pode também produzir resultados invertidos em áreas de picos, de depressões e fora da área coberta pelos pontos amostrais, e ainda não determina a incerteza associada às estimativas como na geoestatística. O usuário deve ser cauteloso e ter cuidado ao aceitar os seus resultados, assegurando-se que eles façam sentido em relação ao seu conhecimento do atributo em estudo numa determinada área (LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Outro método de análise espacial de dados geográficos é a geração de Polígonos de Voronói ou de Thiessen, elaborados originalmente para interpolar dados de precipitação. Para interpolar dados em qualquer ponto este método utiliza a medida mais próxima, e gera uma estimativa constante dentro do polígono em torno de cada ponto amostrado, com variações bruscas entre os limites dos polígonos, geralmente não plausíveis, gerados em uma rede de polígonos irregulares dependentes da distribuição dos pontos de observação e dos valores mensurados para as variáveis nos mesmos. Este método considera que a “melhor informação” para locais não amostrados é o valor conhecido do ponto amostral mais próximo. Como método de interpolação deixa a desejar, mas é muito eficiente para mostrar a área de influência de pontos ou unidades amostrais ou de observação sobre a população que está sendo amostrada (LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

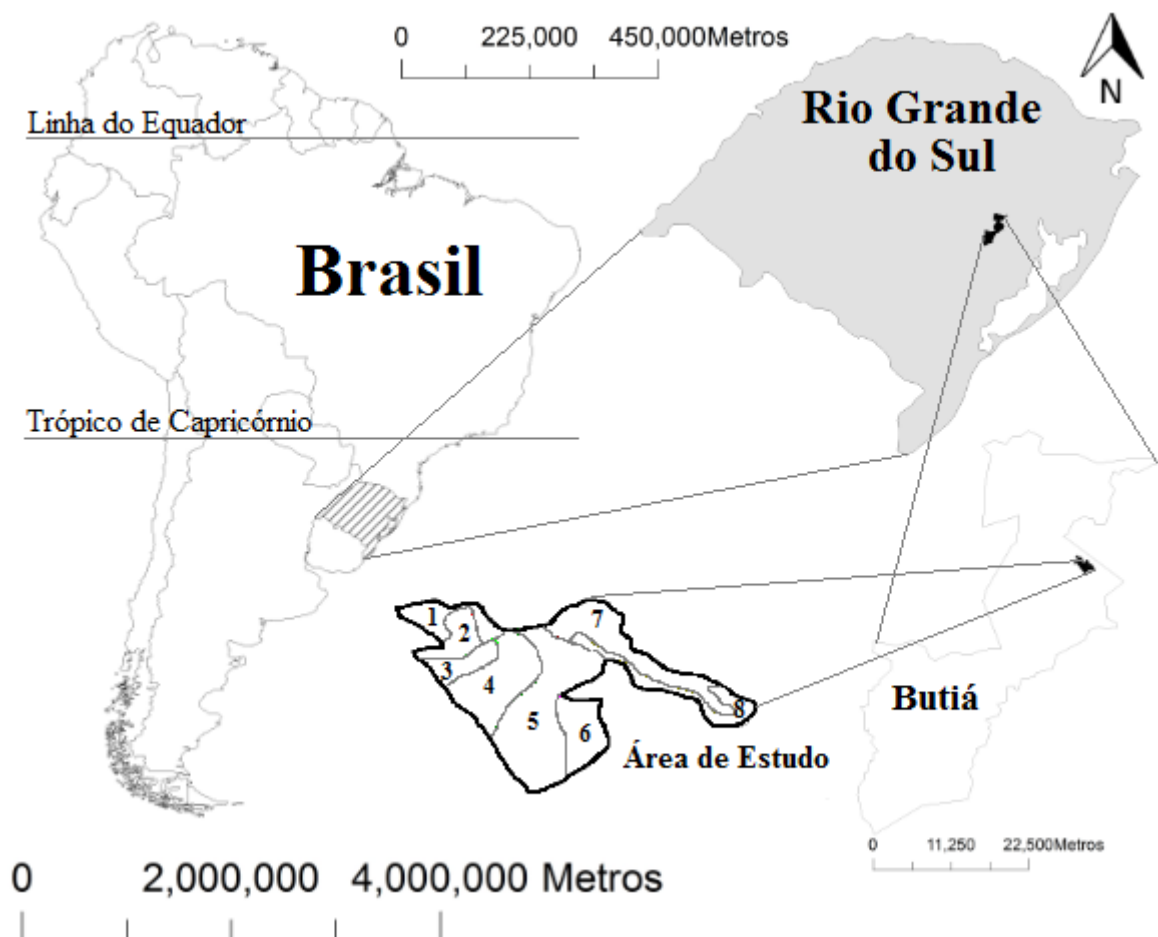
Os objetivos desde trabalho foram realizar interpolações em sistema de informação geográfica sobre as variáveis de contagem de plantas, mensuradas nas ua, falhas de plantio, ataque de formigas cortadeiras, plantas mortas, quebradas, replantio e densidade de plantas, aplicar álgebra de mapas e polígonos de Voronói, como métodos de análise espacial, para verificar a qualidade do plantio florestal realizado na área de interesse, obter e caracterizar as zonas relativas as classes de sobrevivência ou de densidade de plantio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Localização e descrição da área em estudo

A área em estudo compõe uma fração de área do Horto Florestal Colorado, localizado no município de Butiá-RS que contém 11093 hectares de florestas produtivas pertencentes a empresa CMPC Celulose Riograndense, na Região Carbonífera do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A mesma encontra-se entre as coordenadas  $30^{\circ} 05' 00''$  a  $30^{\circ} 06' 30''$  de latitude Sul e  $51^{\circ} 52' 00''$  a  $51^{\circ} 54' 00''$  de longitude Oeste, com altitude média de 104 m em relação ao nível médio do mar.

Figura 1 - Localização da área em estudo no município de Butiá, RS



Legenda: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 são as identificações dos talhões em estudo.

A área de estudo, em regime de reforma florestal, possui aproximadamente 145 hectares com plantio de clones do gênero *Eucalyptus*, dividida em oito talhões com três diferentes materiais genéticos, sendo aproximadamente 55 ha com clones de *E. Grandis* x *E. Urophylla* (material I042), aproximadamente 62 ha com clones de *E. Grandis* x *E. Urophylla* (material I144) e aproximadamente 27 ha de material genético não determinado.

As principais classes de solo no entorno da floresta em estudo constituem-se de Planossolo Háplico Eutrófico (SXe), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) e Luvisso Háplico Órtico (TXo) (STRECK et al., 2008). O clima da localidade, de acordo com a classificação de Koppen, encontra-se numa transição entre subtropical úmido ameno (Cfb) e subtropical úmido quente (Cfa). Já segundo a classificação de Koppen adaptado por Maluf (2000), o clima é temperado, mesotérmico brando 2, com temperatura variando entre 11,5 ° e 13° C e mesotérmico brando 1 entre 13 e 15°C, segundo Koppen modificado por Braga e Ghellere (1999) (WREGUE et al., 2011).

#### Descrição das atividades silviculturais da área em estudo

O preparo da área para o plantio do povoamento teve como atividade inicial o combate a formigas cortadeiras, com aplicação de 4,2 kg ha<sup>-1</sup> de iscas formicida comercial a base de sulfluramida, sendo distribuídos 5 g a cada 12 m<sup>2</sup>. Com uma carência mínima de três dias, iniciou-se a capina química pós-emergente manual em área total com o uso de bombas costais (como todas as atividades da área de estudo que utilizaram herbicidas), aplicou-se 1,7 quilogramas de glifosato por hectare (variação de 10%) diluído em água a uma concentração de 1%, podendo variar dependendo do nível de infestação. Após sete dias da realização do combate a formiga iniciou a subsolagem direta, com profundidade mínima de 50 cm (variação de -10%), sem limpeza de resíduos na linha de preparo para o plantio, e aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples na linha de plantio, numa profundidade ideal de 20 cm. Após 30 dias de carência realizou-se o primeiro repasse com aplicação de 5 g (variação 10%) de isca a cada 24 m<sup>2</sup>. Respeitando-se uma carência mínima de sete dias, com a utilização de matracas, começou o plantio, que teve como balizador as características ideais de apresentar um espaçamento de 3,0 m entre linhas e de 2,5 m entre plantas (7,5 m<sup>2</sup> árvore<sup>-1</sup>), onde na maioria dos casos ocorreram variações em função da presença de cepas e resíduos na área de plantio, oriundos de colheitas de madeira de rotações anteriores. Assim a densidade ideal de indivíduos por hectare seria de 1333 mudas, podendo haver uma variação aceitável de ±5%,

sendo este o parâmetro de qualidade de plantio utilizado na gestão da área comercial de floresta de *Eucalyptus sp.*

Até 10 dias após o plantio, foi realizada a adubação de arranque ou de pós-plantio, utilizando-se equipamentos costais dosadores, que consistiu na aplicação da formulação comercial de NPK 6-30-6, em duas covetas laterais à planta contendo aproximadamente 50 g em cada uma (variação de 10%), totalizando uma taxa de aplicação aproximada de 133 kg ha<sup>-1</sup>. Também respeitando-se esse prazo foi realizada a capina química pré-emergente com 1,33 l ha<sup>-1</sup> de oxifluorfem (variação 10%), aplicado somente na linha de plantio. Após sete dias, o segundo repasse foi realizado de forma localizada, somente onde houve ocorrência de formigas cortadeiras, com aplicação de 10 gramas *in loco*. Com carência de sete dias do segundo repasse, foi realizado o replantio, onde replantou-se mudas saudáveis a frente das que apresentaram alguma anomalia (ataques de formigas cortadeiras, quebrada, déficit hídrico, encharcamento, danos por animais, morta, danos por geada, seca, bifurcada, ponta seca, ataques de pragas ou fungos, dentre outras).

Na eliminação química de cepas foram utilizadas moto-roçadeiras para rebaixar os fustes provenientes da rebrota e, nos mesmos, foi aplicado glifosato diluído em água com concentração em torno de 8%, com intuito de matar a cepa. O último trato silvicultural realizado foi a capina química pós-emergente na linha, sendo aplicado 600g ha<sup>-1</sup> de glifosato diluído em água.

#### Amostragem e obtenção dos dados

Aos 100 dias pós-plantio, foram instaladas 36 unidades amostrais georreferenciadas, distribuídas de forma sistemática na floresta, a aproximadamente 4,3 ha, formando uma grade irregular devido à forma geométrica dos talhões em função das áreas de preservação permanente, estradas e carregadores, dentre outros. O número de unidades amostrais para cada talhão foi determinado em função de suas respectivas áreas, e sua locação foi feita mediante caminhar no interior do talhão até se chegar aos pontos de implantação das respectivas unidades amostrais. A partir de cada ponto foi estipulado um raio de 9,77m para delimitação da área de cada ua (299,87m<sup>2</sup>), dentro das quais deveria haver 40 plantas de *Eucalyptus sp.*, assim, obtendo-se 1333 plantas ha<sup>-1</sup>. Adotou-se um desvio admissível de ±5%, podendo então, o número de plantas variar dentro da ua de 38 a 42, sendo equivalente aos limites de 1266 a 1399 plantas por hectare.



O ponto central de cada unidade amostral foi georreferenciado com um receptor GPS de navegação, com uso de coordenadas projetadas do tipo Universal Transversa de Mercator – UTM, tendo como referência espacial o sistema geodésico WGS84. O erro de posicionamento informado pelo receptor variou de 5 a 10 m.

Foram mensuradas a campo sete variáveis, obtidas através de contagem, sendo elas número total de plantas por ua, plantas atacadas por formigas cortadeiras por ua, número de falhas por ua, número de plantas mortas por ua, número de plantas quebradas por ua, número de mudas replantadas por ua e plantas bifurcadas por ua. Foram duas as variáveis obtidas através de cálculos, problemas de sobrevivência por ua e sobrevivência por ua. Soma do número de falhas por ua, plantas atacadas por formigas cortadeiras por ua e número de plantas quebradas por ua geram a variável problemas de sobrevivência, essa variável subtraída do número total de plantas por ua gerou a variável sobrevivência por ua.

#### Análise dos dados levantados a campo

Os dados coletados provenientes do campo foram convertidos em planilhas eletrônicas com auxílio do programa Excel<sup>®</sup>. Previamente foi realizada a análise de estatística descritiva dos dados amostrais para melhor entendimento, foram ainda analisados, quanto à ocorrência de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (W) a 5% de probabilidade, quanto às correlações entre as variáveis pela matriz de correlação de Pearson e Spearman, com determinação do nível de significância das correlações a 5% de probabilidade de confiança. O programa utilizado foi BioEstat 5.3 (AYRES et al., 2007a).

A tabela com os dados foi adicionada para o sistema de informação geográfica ArcMap<sup>®</sup> 10, convertida em *shapefile* de feição pontual, para posterior interpolação dos dados por ponderação pelo inverso da distância (IDW), afim de gerar superfícies que descreveram a variabilidade espacial das variáveis levantadas a campo e calculadas, gerando mapas (planos de informação) de número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, número de plantas quebradas, número de falhas de plantio, número de plantas mortas, número de plantas bifurcadas, número de mudas replantadas, número total de plantas, problemas que afetam a sobrevivência, sobrevivência e classe de sobrevivência, sendo determinados estes três últimos por álgebra de mapas. Foram gerados também, polígonos de Voronói para determinar a área de influência ou de cobertura de cada unidade amostral instalada, e assim verificar áreas, possivelmente, amostradas de maneira não adequada pelo inventário florestal realizado (intensidade amostral).

Após obtidas as três diferentes classes de sobrevivência, foram verificadas a ocorrência das ua e agrupadas nas respectivas classes. Foram realizadas análises de estatística descritiva em planilha eletrônica, sendo os resultados comparados com a primeira análise de estatística descritiva realizada. Precedendo ANOVA foram realizados, o teste Bartlett ( $p=0,05$ ) para homogeneidade de variâncias e o teste de Shapiro-Wilk ( $p=0,05$ ) para normalidade dos dados. Quando os respectivos testes não foram atendidos, utilizou-se a estatística não paramétrica, com o teste de Kruskal-Wallis. O programa utilizado foi o Assistat<sup>®</sup> 7.7 beta.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados da análise estatística descritiva na Tabela 1 demonstraram que as variáveis número de plantas e sobrevivência foram as que apresentaram a menor variabilidade, com coeficiente de variação abaixo de 10%, com uma diferença inferior a 1% entre elas. As demais variáveis apresentam alta variabilidade, com CV entre 105,56 a 358,57%. Segundo Andriotti (2003) valores de CV abaixo de 40% refletem homogeneidade da amostra, já valores elevados, acima de 100%, representam amostras com grande heterogeneidade.

O comportamento observado nos dados se deve, provavelmente, em função das variáveis que ocorrerem de forma dispersa na floresta, como eventos pontuais na área de estudo. Este comportamento foi um ponto positivo para o desenvolvimento da floresta que deve ser ressaltado, pois significa que em muitas unidades amostrais não foram observadas as variáveis que caracterizam problemas ou baixa qualidade das atividades silviculturais no plantio da floresta, tais como número de plantas mortas, quebradas, atacadas por formigas cortadeiras e/ou falhas de plantio, mantendo altos e homogêneos o número de plantas e a sobrevivência. O número de plantas apresentou assimetria negativa e curtose (forma de distribuição da curva de frequência de distribuição dos dados) positiva, assim como a grande maioria das variáveis, ou seja, curva de frequência leptocúrtica, o que indica alta homogeneidade, pois a distribuição de frequência está concentrada em torno da média. Já a sobrevivência apresentou tanto assimetria quanto curtose negativa, curva planicúrtica (o que indica alta variabilidade). Porém, os valores foram muito próximos de zero, indicando que tanto número total de plantas quanto sobrevivência, foram variáveis homogêneas. Para as demais variáveis, os valores de curtose foram todos altos, indicando curvas distantes da distribuição normal, pois uma curva de distribuição de frequências com curtose nula é do tipo mesocúrtica, ou seja, seria a forma da própria distribuição normal, sendo que apenas o número

de plantas e sobrevivência apresentaram os menores valores de curtose, sendo mais próximos de zero (RIBEIRO JÚNIOR, 2011).

A média de plantas por ua foi de 42,53, representando 1418,28 plantas por hectare, áreas levantadas por Mello (2008) apresentaram 1139,5 plantas por hectare, aproximadamente 19,6% a menos do que encontrado neste trabalho.

A variável problemas de sobrevivência representou aproximadamente 1% do total de plantas. Lopes et al. (2009) observaram perdas de mudas a campo superior a 2%, atribuídas a mortalidade por déficit hídrico e à ação das formigas cortadeiras, e recomendaram o replantio de mudas 30 dias após o plantio.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis estudadas no plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS

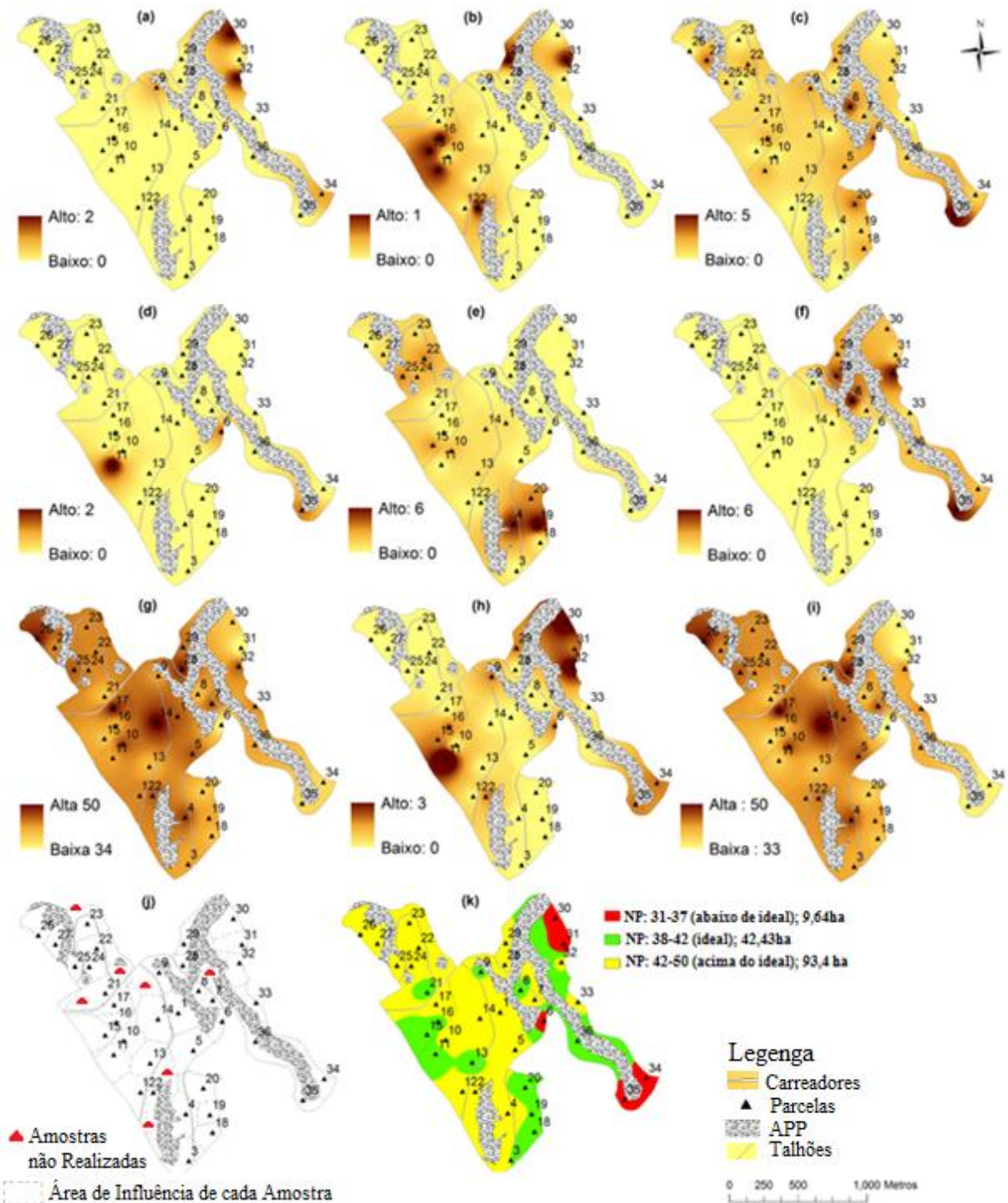
Var	M	EP	Me	Mo	DP	S <sup>2</sup>	Cur	As	Mín	Máx	Σ	Co	CV%
NP	42,53	0,61	43	45	3,64	13,28	0,04	-0,17	34	50	1531	36	8,57
For	0,17	0,08	0	0	0,51	0,26	8,82	3,09	0	2	6	36	304,26
Fal	1,19	0,21	1	0	1,26	1,59	1,19	1,15	0	5	43	36	105,56
Morta	0,11	0,07	0	0	0,40	0,16	15,55	3,87	0	2	4	36	358,57
Queb	0,17	0,06	0	0	0,38	0,14	1,57	1,87	0	1	6	36	226,78
Rep	0,97	0,31	0	0	1,87	3,51	2,83	2,00	0	6	35	36	192,8
Bif	0,89	0,25	0	0	1,53	2,33	3,38	1,93	0	6	32	36	171,73
PS	0,44	0,12	0	0	0,73	0,54	3,26	1,80	0	3	16	36	165,29
Sob	42,08	0,66	43	43	3,95	15,56	-0,03	-0,19	33	50	1515	36	9,37

**Legenda:** Var = Variável; M = Média; EP = Erro Padrão; Me = Mediana; Mo = Moda; DP = Desvio Padrão; S<sup>2</sup> = Variância da Amostra; Cur = Curtose; As = Assimetria; Mín = Mínimo; Máx = Máximo; Σ = Soma; Co = Contagem; CV = Coeficiente de variação; NP = Número Total de Plantas por ua; For = Plantas Atacadas por Formigas Cortadeiras por ua; Fal = Número de Falhas por ua (covas sem plantio); Morta = Número de Plantas Mortas por ua; Queb = Número de Plantas Quebradas por ua; Rep = Número de Mudanças Replantadas por ua; Bif = Plantas Bifurcadas por ua; PS = soma do problemas que afetam a Sobrevivência por ua; Sob = Sobrevivência por ua.

Ao analisar os resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi observado que o número de plantas e sobrevivência foram as variáveis que apresentaram normalidade ao nível de significância de 5%, onde respectivamente para as variáveis acima,  $W_{\text{calculado}} = 0,9762$  e  $0,9654 > W_{(0,05;36)} = 0,935$  (valor crítico, tabelado). Já as demais variáveis, como previsto na discussão anterior, não apresentaram normalidade, pois as estatísticas  $W_{\text{calculado}}$  ficaram entre 0,3215 e 0,8764, abaixo do  $W_{(0,05;36)} = 0,935$  (AYRES et al., 2007b).

Os resultados encontrados a partir da geração dos mapas interpolados pela ponderação do inverso da distância (IDW), podem ser observados na Figura 2, a qual demonstra a variabilidade espacial das problemáticas encontradas nas unidades amostrais estudadas, bem como do número de plantas, sobrevivência e as classes de sobrevivência obtidas.

Figura 2 - Variabilidade espacial das variáveis estudadas no plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS



**Legenda:** (a) Número de Plantas Atacadas por Formigas Cortadeiras por ua; (b) Número de Plantas Quebradas por ua; (c) Número de Falhas por ua (covas sem plantar); (d) Número de Plantas Mortas por ua; (e) Número de Plantas Bifurcadas por ua; (f) Número de Mudas Replantadas por ua; (g) Número de Plantas Total por ua; (h) Problemas que afetam a Sobrevivência por ua; (i) Sobrevivência por ua; (j) Área de Influência das Parcelas (Polígonos de Voronoi); (k) Classes de Sobrevivência (densidade abaixo do ideal 31 a 37 plantas por ua; densidade ideal 38 a 42 plantas por ua, com desvio aceitável de  $\pm 5\%$ ; densidade acima do ideal 43 a 50 plantas por ua); APP = Área de Preservação Permanente.

Podemos observar que a incidência de ataque de formiga cortadeira ocorreu próxima às áreas de preservação permanente (APP) (Figura 2.a), em regiões específicas. O número de plantas quebradas também ocorreu em regiões específicas, sendo um problema que apresentou baixo dano à floresta em formação (Figura 2.b). O trabalho realizado por Grzybowski e Coelho (2012), mostrou que as plantas quebradas representaram apenas 0,9% do povoamento. Entre os quatro problemas relativos a sobrevivências de plantas observados no plantio inventariado (plantas mortas, ataque de formigas cortadeira, quebradas e falhas), o número de falhas foi o problema de maior abrangência entre as unidades amostrais e por consequência entre os talhões (Figura 2.c), Grzybowski et al. (2012) mostraram que as falhas de plantio também foi o principal problema encontrado em seu estudo, onde representou 20,3% de covas sem plantio, em relação aos indivíduos do povoamento.

A mortalidade de indivíduos ocorreu de maneira pontual no plantio em estudo (Figura 2.d), no entanto, seria indicado e viável uma intervenção de replantio, onde a atividade poderia ser feita de maneira localizada, sendo desnecessário percorrer toda a área plantada. No levantamento realizado por Grzybowski et al. (2012), a mortalidade representou 8,5% das plantas levantadas. A ocorrência de plantas bifurcadas na área de estudo formou uma mancha mais evidente na região sul do plantio e se comportou de forma mais pontual na região noroeste (Figura 2.e), tendo uma maior incidência na área onde foi plantado mudas de procedência genética não determinada (unidades amostrais 18, 19 e 20).

Os problemas de sobrevivência (Figura 2.h) e o número de mudas replantadas (Figura 2.f) estão diretamente relacionados, mostrando bem que onde ocorreram as maiores incidências de problemas foram as regiões ou zonas onde ocorreram a maior quantidade de mudas replantadas nas unidades amostrais. Foi possível observar também que, durante o plantio, o número de plantas utilizado foi maior em relação ao número de plantas ideal, de 38 a 42 plantas por unidade amostral ( $\pm 5\%$  de desvio aceitável em relação ao número preconizado de 40 plantas por ua) (Figura 2.g), mostrando os locais com o número de plantas em não conformidade com o padrão exigido pelo controle de qualidade. Isso provavelmente se deve principalmente a quantidade excessiva de resíduos florestais de pós-colheita, também em menor escala as condições do preparo da área para plantio, alinhamento e espaçamento entre plantas, dentre outros fatores. Todas essas variáveis condicionaram a variabilidade espacial da sobrevivência (Figura 2.i), que de maneira direta foi calculada pela diferença entre o número de plantas e os problemas de sobrevivência.

O uso de polígonos de Voronói permitiu verificar a área de influência de cada unidade amostral. Ao contrapor essa informação com os limites dos talhões foi possível observar que a

distribuição das unidades amostrais na área em estudo poderia ser melhorada, para representar melhor a variabilidade do plantio em certas regiões, que foram destacadas pelos pontos em vermelho no respectivo mapa (Figura 2.j) e que poderiam estar inadequadamente representadas pela amostragem.

A sobrevivência de plantas obtida com os dados do inventário foi reclassificada em três classes (figura 2.k), sendo: densidade abaixo do ideal (31 a 37 plantas por ua), onde se observaram três regiões ou zonas nestas condições dentro da floresta em estudo, contabilizando 9,64 ha, contendo a menor área de plantio, assim, podendo ser viável realizar replantio *in loco* na área de baixa; densidade ideal ou densidade preconizada pelo controle de qualidade (38 a 42 plantas por ua), classe que representa 42,43 ha; e densidade acima do ideal (43 a 50 plantas por ua), a qual representou a maior área, totalizando 93,50 ha. Nessa classe em função do adensamento de plantas, pode ser realizado um desbaste nos locais de ocorrência, para que não haja perda de incremento por competição de espaço com o desenvolvimento de floresta, uma vez que é preconizado ser ter  $7,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ .

Na prática, pode-se observar que mais de 70% da área de estudo ficou com o número de plantas fora do ideal, podendo comprometer os custos de colheita, por exemplo, na medida em que poderá ser necessário abater um maior número de árvores para se obter um dado volume de madeira que poderia ser obtido com um número menor de árvores de maior volume. Será também possível que este volume seja menor do que o esperado pelo fato de poder haver, na classe de densidade abaixo do ideal, um menor número de plantas por unidade de área, e no caso da classe de densidade acima do ideal, baixo crescimento em diâmetro das plantas devido a competição árvore a árvore. A primeira e a última situação poderiam ocorrer em aproximadamente 64% das ua, que constam com densidade acima do ideal. Nestas situações, o volume de madeira na floresta poderia ser reduzido e o custo de colheita aumentado nas zonas com densidade de plantas fora dos limites ideais.

Com base nestes resultados algumas intervenções na floresta poderiam ser previstas, como por exemplo, o replantio de mudas localizado na zona relativa à classe de sobrevivência abaixo do ideal, a retirada de algumas árvores - desbaste, no momento da manutenção ou de algum outro trato silvicultural, na zona relativa a classe de sobrevivência acima do ideal, para otimizar o incremento do crescimento e ganho de volume e biomassa das árvores.

Pode-se observar na Tabela 2, que na variável número de plantas por ua com densidade abaixo do ideal e ideal, a média desta variável ficou abaixo da média geral calculada anteriormente na Tabela 1. Já na classe de sobrevivência acima do ideal, a média desta variável subiu para 45,21 e os seus coeficientes de variação foram os mais baixos, em



relação aos das demais variáveis, nas três classes. Isso ocorreu porque as unidades amostrais foram agrupadas de acordo com a classe de densidade, assim, ocorrendo uma maior homogeneidade dentro de cada classe.

A média de plantas atacadas por formigas cortadeiras nas ua com densidade abaixo do ideal foi de 0,6, que ficou acima do anteriormente calculado (0,17 plantas atacadas por formigas cortadeiras por ua). Já as unidades amostrais com densidade ideal não apresentaram problemas com formigas cortadeiras e a classe acima do ideal apresentou plantas atacadas por formigas cortadeiras (0,11) abaixo da média geral anteriormente calculada. Nesta última classe, o coeficiente de variação (435,89%) foi acima do que o CV% anteriormente obtido para esta variável (304,26).

Para as falhas de plantio as médias obtidas nas classes de densidades abaixo do ideal e ideal apresentaram valores superiores ao da média geral, que foi de 1,19 plantas por ua, enquanto que na classe de alta densidade foi apenas de 0,74, porém seu CV (126,68%) foi acima do apresentado pelos dados amostrais na Tabela 1 (105,56 %). Para a média de plantas mortas as duas primeiras classes apresentaram valores acima da média dos dados amostrais (0,11). Já na classe de alta densidade não foi encontrado nenhuma planta morta. Para a variável número de plantas quebradas, na densidade abaixo do ideal, a média foi de 0,20, sendo bem próxima da média geral obtida anteriormente (0,17). Na classe ideal, o número de plantas quebradas foi o único problema encontrado em maior magnitude, quando comparado com a classe de menor densidade.

Pode-se observar na Tabela 2 que a sobrevivência apresentou nas três classes coeficiente de variação abaixo do geral, obtido para os dados amostrais. Já em relação à média, apenas ua com densidade acima do ideal possuíram valor superior ao da média geral (42,09). Pode-se observar que em três variáveis (plantas atacadas por formigas, plantas mortas e quebradas), consideradas problemas de plantio, as médias da classe de densidade abaixo do ideal foram todas menores, quando comparadas com as médias da Tabela 1, justamente por apresentarem grande concentração dos problemas de plantio que proporcionam baixa densidade. Ao contrário do ocorrido na classe de alta densidade, que apresentou baixas médias nas quatro variáveis consideradas problemas. Plantas atacadas por formigas e falhas, referente à classe de alta densidade, foram as únicas variáveis que apresentaram coeficiente de variação acima do CV calculado na Tabela 1, em função de que os valores estão separados entre três classes de densidade diferentes.

Tabela 2 - Análise de estatística descritiva das variáveis estudadas, em três classes de densidade de plantas, no plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS

Classe	Var	M	EP	Me	Mo	DP	S <sup>2</sup>	Cur	As	Mín	Máx	Σ	Co	CV%
C1	NP	36,80	0,97	38	38	2,17	4,70	-2,37	-0,56	34	39	184	5	5,89
	For	0,60	0,40	0	0	0,89	0,80	0,31	1,26	0	2	3	5	149,07
	Fal	2,00	0,89	1	1	2,00	4,00	-0,19	0,94	0	5	10	5	100,00
	Morta	0,40	0,24	0	0	0,55	0,30	-3,33	0,61	0	1	2	5	136,93
	Queb	0,20	0,20	0	0	0,45	0,20	5,00	2,24	0	1	1	5	223,61
	Sob	35,60	0,87	37	37	1,95	3,80	-2,48	-0,76	33	37	178	5	5,48
C2	NP	40,67	0,38	41	42	1,30	1,70	-1,87	-0,14	39	42	488	12	3,20
	For	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	-	-	0	0	0	12	-
	Fal	1,50	0,34	1	1	1,17	1,36	0,61	0,82	0	4	18	12	77,85
	Morta	0,33	0,22	0	0	0,78	0,61	2,64	2,06	0	2	4	12	233,55
	Queb	0,25	0,13	0	0	0,45	0,20	-0,33	1,33	0	1	3	12	180,91
	Sob	40,08	0,38	40	40	1,31	1,72	-0,65	0,40	38	42	481	12	3,27
C3	NP	45,21	0,50	45	43	2,18	4,73	-0,11	0,86	43	50	859	19	4,81
	For	0,11	0,11	0	0	0,46	0,21	19,00	4,36	0	2	2	19	435,89
	Fal	0,74	0,21	0	0	0,93	0,87	0,19	1,05	0	3	14	19	126,68
	Morta	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	-	-	0	0	0	19	-
	Queb	0,11	0,07	0	0	0,32	0,10	6,51	2,80	0	1	2	19	299,54
	Sob	45,00	0,52	45	43	2,29	5,22	-0,23	0,94	43	50	855	19	5,08

**Legenda:** Var = Variável; M = Média; EP = Erro Padrão; Me = Mediana; Mo = Moda; DP = Desvio Padrão; S<sup>2</sup> = Variância da Amostra; Cur = Curtose; As = Assimetria; Int = Intervalo; Mín = Mínimo; Máx = Máximo; Σ = Soma; Co = Contagem; NC = Nível de Confiança (95.0%); CV% = Coeficiente de variação; NP = Número Total de Plantas por ua; For = Plantas Atacadas por Formigas Cortadeiras por ua; Fal = Número de Falhas por ua (covas sem plantio); Morta = Número de Plantas Mortas por ua; Queb = Número de Plantas Quebradas por ua; Sob = Sobrevivência por ua.

C1= Classe de Densidade abaixo do ideal (33 – 39 plantas por unidade amostral); C2 = Classe de Densidade ideal (38 – 40 plantas por unidade amostral); C3 = Classe de Densidade acima do ideal (43 – 50 plantas por unidade amostral).

Nas zonas C1 foram estimadas 11183,2 plantas, onde, deveriam conter 12850, gerando um desvio aproximado de 13%, nas zonas C2 foram estimados 57547,8 plantas, nas quais deveriam conter 56559,2 plantas, gerando um desvio aceitável de 1,7% e nas zonas C3 encontrou-se 140819,2 plantas, esse valor deveria ser 124502,2, gerando um desvio de 13,1%, bem próximo do das zonas de baixa densidade.

O teste de Bartlett (p-0,05) mostrou haver homogeneidade de variâncias para os dados das variáveis número total de plantas ( $\chi^2 = 3,14$ ), falhas ( $\chi^2 = 4,68$ ), quebradas ( $\chi^2 = 1,98$ ) e sobrevivência ( $\chi^2 = 3,93$ ), um vez que apresentaram valores de  $\chi^2$  menores que o valor crítico ( $\chi^2 = 5,99148$ ;  $\alpha = 5\%$ ). Já problemas de sobrevivência ( $\chi^2 = 6,49$ ) não apresentou



homogeneidade, para as variáveis plantas atacadas por formigas cortadeiras, na qual não houve ocorrência na C2, e para plantas mortas, para a qual também não houve ocorrência na C3, não foi possível aplicar este teste.

Para calcular a normalidade das variáveis foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk ( $p = 0,05$ ), sendo assim, o número total de plantas apresentou  $W = 0,97873$  ( $p = 0,70240$ ) sobrevivência  $W = 0,97794$  ( $p = 0,67563$ ), pelo qual ambas as variáveis apresentaram então normalidade. Este comportamento diferiu em relação às demais variáveis, que não apresentaram normalidade.

Para as variáveis que apresentaram homogeneidade de variâncias e normalidade em seus dados, foi realizado a ANOVA. O resultado da ANOVA, composto pelo teste de significância F ( $p = 0,05$ ) e pela comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p = 0,05$ ) estão listados na Tabela 3, onde se observou que o número total de plantas e sobrevivência apresentaram diferenças estatísticas significativas e que, para ambas as variáveis, as maiores e as menores médias foram observadas, respectivamente, nas classes de sobrevivência acima do ideal e ideal, pelo fato das médias das classes terem sido maiores que as diferenças mínimas significativas (dms).

Tabela 3 - Resultado da ANOVA para o número total de plantas e sobrevivência por ua nas classes de sobrevivência obtidas para o plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS

Var	(F)			Teste de Tukey					
	F <sub>Cal</sub>	F <sub>Crí</sub>	Prob.	Medias das Classes (C)			dms		
				C1 nr = 5	C2 nr = 12	C3 nr = 19	C1 - C2	C1 - C3	C2 - C3
NP	46,07	5,31	<0.0001	36,80 c	40,67 b	45,21 a	2,51	2,37	1,74
Sob	46,47	5,31	<0.0001	33,60 c	38,58 b	44,26 a	3,16	2,98	2,19

**Legenda:** F = Estatística do teste de significância F; Var = Variável; NP = Número Total de Plantas por ua; Sob = Sobrevivência; F<sub>Cal</sub> = F Calculado; F<sub>Crí</sub> = F Crítico; Prob. = Probabilidade; C1 = classe de sobrevivência abaixo do ideal (densidade de plantas por ua < 38), C2 = classe de sobrevivência ideal (densidade de plantas por ua entre 38 e 42) e C3 = classe de sobrevivência acima do ideal (densidade de plantas por ua > 42); nr = número de repetições em cada tratamento; dms = diferença mínima significativa. Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ( $p = 0,05$ ).

Para as demais variáveis que não apresentaram dados com homogeneidade de variâncias e normalidade foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ( $p = 0,05$ ), para comparação de média por postos (estatística não paramétrica). Devido a natureza das variáveis não foi realizada a transformação de dados, pelo fato de muitas das variáveis não terem ocorrido em muitas ua nas respectivas classes de sobrevivência. Os resultados foram dispostos na Tabela

4, onde houve diferença significativa para a variável número de mudas atacadas por formigas cortadeira por ua, quando comparadas C1 com C2 e C1 com C3, e também ocorreu diferença significativa para a variável problemas de sobrevivência quando comparadas as classes C1 e C3, por terem apresentado diferença calculada maior do que a diferença crítica.

Tabela 4 - Resultado da comparação de médias dos postos para demais variáveis mensuradas nas ua por classes de sobrevivência obtidas para o plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS

Var	Classes	Σ dos Postos	M dos Postos	$\alpha = 5\%$	Comparações Múltiplas	Diferença Calculada	Diferença Crítica	Diferentes
For	C1	120,5	24,10	b	C1 - C2	7,10	6,43	sim
	C2	204,0	17,00	a	C1 - C3	6,13	6,08	sim
	C3	341,5	17,97	a	C2 - C3	0,97	4,46	não
Fal	C1	115,0	23,00	a	C1 - C2	0,92	12,82	não
	C2	265,0	22,08	a	C1 - C3	7,95	12,10	não
	C3	286,0	15,05	a	C2 - C3	7,03	8,88	não
Mor	C1	116,5	23,30	a	C1 - C2	3,63	7,32	não
	C2	236,0	19,67	a	C1 - C3	6,80	6,92	não
	C3	313,5	16,50	a	C2 - C3	3,17	5,07	não
Queb	C1	95,5	19,10	a	C1 - C2	0,90	8,67	não
	C2	240,0	20,00	a	C1 - C3	1,71	8,19	não
	C3	330,5	17,39	a	C2 - C3	2,61	6,01	não
PS	C1	148,0	29,60	b	C1 - C2	10,68	11,17	não
	C2	227,0	18,92	a	C1 - C3	14,28	10,55	sim
	C3	291,0	15,32	a	C2 - C3	3,60	7,74	não

**Legenda:** Var = Variável; For = Número de Plantas atacadas por Formigas Cortadeiras por ua; Fal = Número de Falhas de Plantio por ua; Mor = Número de Plantas Mortas por ua; Queb = Número de Plantas Quebradas; C1 = Classe de Sobrevivência com Densidade de plantas Abaixo do Ideal (<38 plantas por ua); C2 = Classe de Sobrevivência com Densidade de plantas Ideal (38-42 plantas por ua); C3 = Classe de Sobrevivência com Densidade de plantas Acima do Ideal (> 42 plantas por ua); Σ dos Postos = Soma dos Postos; M de Postos = Média dos Postos; C1, C2 e C3 = Classes. As diferenças estatísticas entre as médias de postos foram obtidas pelo teste de Kruscal-Wallis (p=0,05).

As análises estatísticas realizadas confirmam que o plantio comercial de *Eucalyptus sp.* avaliado apresentou três zonas distintas de densidades de plantas 100 dias após o plantio, definidas pelas classes de sobrevivência das plantas. As variáveis que ocorrem em toda a área de estudo foram número total de plantas e sobrevivência, e que apresentaram variabilidade espacial (Figura 2.g e 2.i respectivamente) em função dos problemas de plantio, que ocorreram de forma localizada no plantio, e das falhas de plantio, que ocorrem de maneira mais frequente e intensa em comparação com os problemas de plantio. No entanto, a variável plantas atacadas por formigas cortadeiras apresentou diferença de média entre classes de

sobrevivência de plantas. As variáveis que apresentaram diferenças estatísticas foram número total de plantas, sobrevivência e número de plantas atacadas por formigas. Estas três variáveis podem ser utilizadas para caracterizar as zonas de densidade de plantas definidas no plantio, que foram consideradas diferentes entre si.

Os problemas relacionados à qualidade de plantio foram significativos à qualidade da floresta somente se agrupados, por terem apresentado uma alta correlação (98%,  $p = <0,0001$ ) de Pearson com o número de plantas presentes nas unidades amostrais e sobrevivência.

O replantio deve-se principalmente ao problema plantas atacadas por formigas cortadeiras (53%,  $p = 0,0009$ ) (Tabela 5). As variáveis número de plantas atacadas por formigas cortadeiras (48%,  $p = 0,0030$ ), morta (0,55,  $p = 0,0005$ ) e quebrada (0,59,  $p = 0,0002$ ) apresentaram alta correlação de Spearman com problemas de sobrevivência.

Tabela 5 - Matriz de correlação de Spearman das variáveis estudadas no plantio comercial de *Eucalyptus sp.* no Horto Florestal Colorado, Butiá-RS

Variáveis	For	Fal	Morta	Queb	Rep	Bif	PS
For	1						
Fal	-0,10 (0,5628)	1					
Morta	-0,11 (0,5371)	0,37 (0,0253)	1				
Queb	-0,13 (0,4334)	0,06 (0,7276)	0,09 (0,5933)	1			
Rep	0,53 (0,0009)	0,14 (0,4280)	0,02 (0,9056)	-0,12 (0,4929)	1		
Bif	-0,24 (0,1515)	-0,12 (0,4904)	-0,29 (0,0909)	-0,2 (0,8880)	-0,46 (0,0046)	1	
PS	0,48 (0,0030)	0,17 (0,3196)	0,55 (0,0005)	0,59 (0,0002)	0,28 (0,0995)	-0,33 (0,0501)	1

**Legenda:** For = Plantas Atacadas por Formigas Cortadeiras por ua; Fal = Número de Falhas por ua (covas sem plantio); Morta = Número de Plantas Mortas por ua; Queb = Número de Plantas Quebradas por ua; Rep = Número de Mudanças Replantadas por ua; Bif = Plantas Bifurcadas por ua; PS = Problemas na Sobrevivência por ua; () = probabilidade de significância.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível determinar e caracterizar zonas de densidade de plantas distintas no plantio comercial *Eucalyptus sp.*, em função das classes de sobrevivência de plantas por ua ou

de densidade final de plantas por ua obtidas por análise espacial e reclassificação de dados matriciais em SIG. Uso do SIG e da metodologia proposta atenderam os objetivos deste trabalho. Ao final observou-se que as variáveis número total de plantas por ua, sobrevivência de plantas por ua e número de plantas atacadas por formiga por ua foram as variáveis que mostraram diferenças estatísticas entre as zonas obtidas. Os dados amostrais das duas primeiras variáveis apresentaram alta correlação ( $0,98 p < 0,0001$ ).

Foram também obtidos mapas (planos de informação) que descreveram a variabilidade espacial das variáveis analisadas. Os mapas mais notáveis, em termo de variabilidade espacial, foram o das classes de sobrevivência e, o das variáveis, número total de plantas, sobrevivência, problemas de plantio e número de falhas.

O número de falhas foi o fator negativo que ocorreu com maior frequência e intensidade (até cinco falhas por ua, 12,5%), provavelmente devido à grande quantidade de resíduos florestais oriundos da colheita anterior ao plantio. Esses resíduos também podem ter sido a causa da grande extensão da zona de alta densidade de plantas referente a classe de sobrevivência acima do ideal, possivelmente por estimular o plantio mais adensado de mudas.

Outra constatação foi que as plantas de procedência genética não informada apresentaram alto índice de indivíduos bifurcados. Provavelmente mudas sem procedência genética conhecida não serão utilizadas futuramente. O uso de polígonos de Voronói sugere que a grade amostral poderia ter sido melhor elaborada, objetivando não ocorrer áreas extensas sem unidades amostrais ao longo da área a ser inventariada, tendo uma melhor distribuição das ua e abrangência na população.

Em relação ao parâmetro de qualidade para o plantio avaliado, estipulado pela gestão do horto florestal, pode-se considerar que, de modo geral, o mesmo não foi atendido em 70% da área de plantio avaliado, tendo aproximadamente 93 e 10 ha, respectivamente, com densidade plantas por ua acima e abaixo dos limites estabelecidos.

Recomenda-se a realização de mais pesquisas, com o objetivo de verificar a real necessidade e a melhor forma de realizar intervenções *in loco* e específicas segundo as demandas de cada zona, devido aos problemas encontrados. Essas intervenções não seriam em área total, pois foram determinados os locais de ocorrência dos problemas, podendo assim, reduzir custos e tempo de operação para obter maior eficiência na formação de florestas de *Eucalyptus sp.* Considerando os resultados obtidos e as considerações realizadas a abordagem de Silvicultura de Precisão ou Floresta de Precisão é necessária para otimizar a formação de recursos florestais.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; DULLIUS, M.; WATZLAWICK, L. F. Geoestatística aplicada à caracterização de florestas. In: FARIA, A. B. C.; BRUN, E. J.; FERRARI, F. (Org.). **Ciências Florestais e Biológicas – CIFLORBIO**. Curitiba: Editora UTFPR, 2015. cap 5, p. 159-192.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003, 165 p.
- AYRES, M.; AYRES, JUNIOR, M.; AYRES D. L.; SANTOS, A. S. **Bioestat 5.0**: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Instituto Mamirauá, Belém, 5 ed., 2007, 364 p.
- BENEDETTI, V. Precisamos fazer o dever de casa antes da silvicultura de precisão. **Addubare**, Piracicaba, v. 7, n. 23, p. 8, jul./dez. 2012. Disponível em:<<http://www.rragroflorestal.com.br/dowzloads/informativos/addubare23.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- BERGER, R.; SCHENEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- CARVALHO, A. O.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; CARMO, M. G. F. Resistência de espécies, progênies e procedências de *Eucalyptus* à ferrugem, causada por *Puccinia psidii* Winter. **Embrapa**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 139-147, fev.1998.
- CMPC, Celulose Riograndence. **Relatório anual de sustentabilidade**, 2013, 70 p.
- GRZYBOWSKI, C. U.; COELHO, V. C. M. Avaliação qualitativa e quantitativa de povoamento de *Eucalyptus Grandis* na fazenda Santo Inácio – Riversul/SP. I ENCONTRO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Jaguariaíva/PR. **Anais...** Jaguariaíva/PR: Faculdade União Latino-Americana de Tecnologia, 2012. p. 76 – 82.
- HARDIYANTO, E. B. Growth and genetic improvement of *Eucalyptus pellita* in South Sumatra, Indonesia. In: ***Eucalypts in Asia***: proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 7-11 April 2003. Canberra: ACIAR, 2003. p. 82-88. (ACIAR Proceedings, 111). ISBN. Disponível em <<http://aciar.gov.au/files/node/505/pr111.pdf>>. Acesso em 10 de set. 2016.
- HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 191-217.
- LONGLEY, P. A.; GOODCILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas da ciência da informação geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 3 ed., 2013. 540 p.
- LOPES, J. L. W.; SAAD, J. C. C.; GUERRINI, I. A. G.; LOPES, C. F. Influência dos fatores bióticos e abióticos na sobrevivência de eucalipto em função do solo e do manejo de viveiro. **Revista Biotemas**, Santa Catarina, v. 22, n. 2, p. 29-38, 2009.

MAEDA, S.; AHRENS, S.; CHIARELLO, S. R.; OLIVEIRA, E. B.; STOLLE, L.; FOWLER, J. A. P.; BOGNOLA, I. A. **Resultados de um novo olhar: Silvicultura de precisão**. Brasília-DF: Embrapa, 1 ed., n. 47, p. 467-477, 2014.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; THIERSCH, C. R. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 1, p. 157-166, 2009.

MENDONÇA, L. A. **Geoestatística na amostragem sequencial de formigas cortadeiras em eucalíptas em região de Mata Atlântica**. 2008. 52p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, MG, 2008.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas, 4. ed. **Revista e Atual** – Brasília, DF: Embrapa, 2015, 4 ed., 399 p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos. 1 ed., 2015. 238p.

MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L. Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 59-66, 2007.

PINTO, S. I. C.; NETO, A. E. F.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 35, n. 2, Viçosa/MG, p 523-533, 2011.

RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de precisão. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 1. Reed. Viçosa: UFV, 2004. p. 311-335.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no Excel**. Guia Prático. 1 ed; Editora da UFV: Viçosa, 2011, 250 p.

RUFINO, T. M. C.; THIERSCH, C. R.; FERREIRA, S. O.; KANEGE JÚNIOR, H.; FAIS, D. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de *Eucalyptus sp* e atributos do solo. **Revista Ambiente**, Guarapuava, v. 2, ed., especial 1, p. 83-93, 2006.

STRECK, V. S.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3 ed., Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TAYLOR, S. E.; McDONALD, T. P.; FULTON, J. P.; SHAW, J. N.; CORLEY, F. W.; BROADBECK, C. J. **Precision forestry in the southeast U. S.** 2002. p. 397-414.

VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIRÓZ, D.M. de; et al. (Ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Os autores, 2000. p. 65-75.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas/Colombo: EMBRAPA, 2011. 333 p.

### 3 CONCLUSÃO

As variáveis que ocorreram em todas as ua, de forma contínua, evidentes nos mapas obtidos e que apresentaram variabilidade espacial, foram o número total de plantas e sobrevivência por ua. Essas duas variáveis, juntamente com o número de plantas atacadas por formigas cortadeiras, podem ser utilizadas para caracterizar e mostrar diferenças entre as classes de sobrevivência obtidas e suas respectivas zonas determinadas para o plantio comercial de *Eucalyptus sp.* avaliado.

A variável número de falhas de plantio por ua também apresentou variabilidade espacial no mapa gerado, porém não tão evidente quando comparada com as variáveis número total de plantas e sobrevivência. No entanto, as falhas foram frequentes e mais intensas em comparação com as variáveis que definiram os problemas que afetam a sobrevivência (número de plantas quebradas, mortas e atacadas por formigas cortadeiras por ua).

Foram determinadas três classes de sobrevivência de plantas por ua e suas respectivas zonas ao longo do plantio. Aproximadamente 43 ha, dos 145 ha avaliados, ficaram dentro dos limites aceitáveis de densidade de plantas por ua, classe ideal de sobrevivência (38 a 42 plantas por ua). Desta forma, o plantio encontra-se fora dos parâmetros de qualidade em 70% de sua área. Intervenções poderiam ser realizadas, tais como desbaste nas zonas de alta densidade (classe de sobrevivência acima do ideal) e replantio nas zonas de densidade abaixo do ideal (classe de sobrevivência abaixo do ideal). Essas intervenções devem respeitar os estágios de crescimento e desenvolvimento da floresta, sendo realizadas em momentos adequados, para obter os resultados esperados.

A provável causa da alta densidade de plantas pode estar relacionada à quantidade de resíduos de colheita na área de plantio, por se tratar de reforma da floresta, que provavelmente estimula o plantio mais adensado de mudas. Outro fator, que possibilita o aumento da densidade de plantas, é a ideia de sempre colocar mais mudas para compensar as perdas que possam ocorrer, uma prática comum a campo.

Os problemas que afetam a sobrevivência e as falhas não reduziram de maneira significativa a densidade de plantas, houve apenas 1,05% de perda de mudas, o que sugere que os tratamentos silviculturais foram realizados de maneira satisfatória como manutenção da floresta, do ponto de vista de evitar perdas de mudas.



Os objetivos gerais e específicos deste trabalho foram atendidos. A metodologia, as técnicas e os materiais utilizados foram adequados ao desenvolvimento do mesmo e obtenção dos resultados. Com a análise e interpretação dos resultados obtidos, conclui-se que a abordagem de floresta de precisão ou de silvicultura de precisão deve ser utilizada nos processos de reforma e manejo de florestas comerciais de *Eucalyptus sp.*

## REFERÊNCIAS

- ABRAF. Associação Brasileira de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013. 148 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa, WDI Publications, 1989.
- BARBOSA, C. C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1997. 157 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 1997. Disponível em: <<http://mtc-12.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/banon/1998/05.07.15.37/doc/publicacao.pdf?languagebutton=en>>. Acessado em 20 de nov. 2016.
- BARCELOS, M. **Atores, interações e escolhas: a política de silvicultura na área ambiental no Rio Grande do Sul - 2004/2009**. 2010. 179 p. Dissertação (Mestrado em Sociologia). Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25527/000753425.pdf?sequence=1>>. Acessado em: 08 de jun. 2016.
- BÔAS, O. V.; MAX, J.C.M.; MELO, A.C.G. Crescimento comparativo de espécies de Eucalyptus e Corymbia no município de Marília, SP. **Revista Instituto Florestal**, v. 21, n. 1, p. 63-72, 2009.
- BRASIL. Lei Federal n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Floresta. Palácio do Planalto, Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acessado em: 20 set. 2016.
- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 193 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&id=KsMsAQAAAJ&focus=searchwithinvolume&q=Principles+of+Geographical+Information+Systems+for+Land+Resources+Assessment>>. Acessado em 21 ago. 2016.
- DICK, B. Precision forestry – the path to profitability. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 2., 2003, Seattle. **Proceedings...** Seattle: University of Washington, 2003. p. 3-8.
- EITELWEIN, M. T. **Definição de Estabilidade Produtiva e Relação Com Atributos de Solo em Áreas Manejadas com Agricultura de Precisão**. 2013. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- ESRI. **Environmental Systems Research Institute**, Redlands, EUA, 2008.
- FERREIRA, M. **Escolha de espécies arbóreas para formação de maciços florestais**. Documentos Florestais. Piracicaba, ESALQ, p.10, 1990. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap7.pdf>>. Acessado em abr. 2016.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos. 1ª ed. 2008. 160 p.

GUADAGNIN, D. L., et. al. Árvores e arbustos exóticos invasores no Pampa: questões ecológicas, culturais e socioeconômicas de um desafio crescente. In: PILLAR, V. P. (Org.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. Cap. 24, p 300-316.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **O Brasil na indústria de celulose global**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://iba.org/pt/canal-da-presidencia/9-conteudo-pt/671-o-brasil-na-industria-de-celulose-global>>. Acessado em: 3 dez. 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório ibá 2014**. São Paulo, 2014. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/iba\\_2014\\_pt.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf)>. Acessado em: 9 set. 2016.

**IBGE**, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, Rio de Janeiro, v. 9, p. 1-45, 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sds\\_dads\\_agroextra/\\_arquivos/pevs2009\\_65.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sds_dads_agroextra/_arquivos/pevs2009_65.pdf)>. Acessado em: 10 de out. 2016.

IMB, Produção de extração vegetal e silvicultura no Brasil e em Goiás no ano de 2010, **Pesquisas Anuais**, 2010. Disponível em: <[http://www.imb.go.gov.br/viewrele.asp?cd\\_assunto=22&cd\\_anomes=201000](http://www.imb.go.gov.br/viewrele.asp?cd_assunto=22&cd_anomes=201000)>. Acessado em: 10 de out. 2016.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas da ciência da informação geográfica**. 3 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

MENEZES, S.J.C.; SEDIYAMA, G.C.; SOARES, V.P.; GLERIANI, J.M.; RIBEIRO, C.A.A.S.; ANDRADE, R.G. Floresta de precisão: determinação da evapotranspiração regional em plantio de eucalipto utilizando o algoritmo sebal e o sensor orbital tm-landsat 5. **SBI Agro – 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 2009. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34988/1/T043.pdf> Acesso: 09/10/2016.

MIRANDA, J.I. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p. Disponível em: <[http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p13\\_05.pdf](http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p13_05.pdf)>. Acessado em: 25 de out. 2016.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas, 4. ed. **Revista e Atual** – Brasília, DF: Embrapa, 2015, 399 p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos. 1 ed. 2015. 238 p.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

PENA, R.; A. **SIG: Brasil Escola**, 2016. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/sig.htm>>. Acesso em 09 de julho de 2016.

- SANTOS, Á. F.; AUER, C.G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. **Documentos**, **45**. Embrapa, Circular Técnica, Colombo, PR, n. 45, p. 20, 2001. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/circtec/edicoes/circ-tec45.pdf>>. Acessado em 9 de jul. 2016.
- SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, D. P.; CASTRO, D. M.; DELLA FLORA, L. P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 1, p. 16-23, 2014.
- RUFINO, T. M. C.; THIERSCH, C. R.; FERREIRA, S. O.; KANEGE JÚRNIO, H.; FAIS, D. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de *Eucalyptus sp* e atributos do solo. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 2, ed., especial 1, p. 83-93, 2006.
- SILVA, E. O. Extensões espaciais em MySQL. **Revista SQLMagazine**, ed. 14, 2004. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/artigo-sql-magazine-14-extensoes-espaciais-em-mysql/5683>>. Acessado em 10 de jul. 2016.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, SBS. **Segmento de celulose e papel**. São Paulo, 2016. Disponível em: <[http://www.sbs.org.br/segmento\\_celulosep.htm#2](http://www.sbs.org.br/segmento_celulosep.htm#2)>. Acessado em 22 de dez. 2016.
- TRENTIN, A. B.; SALDANHA, D. B.; KUPLICH, T. M. Análise temporal da silvicultura no sudeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia Acadêmica**, Rio Claro, v. 39, n. 3, p. 499-509, set./dez. 2014.
- VALENTE, M. L. **Alteração nas características físico-químicas e biológicas da água com a introdução da atividade de silvicultura de eucalipto em microbacias na região do pampa – RS**. 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- ZANATTA, S. R.; SCHVARZ SOBRINHO, R. Reflorestamento com eucalipto: fonte alternativa de renda sustentável para o agricultor familiar da região sudoeste de estado do Paraná. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p.1-11, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/74810196/Eucalipto-PDF>>. Acesso em: 9 de jul. 2016.
- ZHAO, C.; HUANG, W.; CHEN, L.; MENG, Z.; WANG, Y.; XU, F. A harvest area measurement system based on ultrasonic sensors and DGPS for yield map correction. **Precision Agriculture**, v. 11, p.163-180, 2010.
- ZONETE, M. C. C. **Avaliação do uso de técnicas de interpolação para estimativa de volume em florestas clonais de *Eucalyptus sp***. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quairoz”, Piracicaba, 2009.