

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

Cássio Thomas da Silveira

**ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO ARBÓREA EM PARCELA DE ESTEPE
ESTACIONAL SAVANICOLA, NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO, RS.**

Santa Maria, RS

2018

Cássio Thomas da Silveira

**ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO ARBÓREA EM PARCELA DE ESTEPE
ESTACIONAL SAVANICOLA, NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO, RS.**

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 Título de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Santa Maria, RS

2018

Cássio Thomas da Silveira

**ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO ARBÓREA EM PARCELA DE ESTEPE
ESTACIONAL SAVANICOLA, NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO, RS.**

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 Título de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Aprovado em 12 de janeiro de 2018:

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

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Luciano Farinha Watzlawick, Dr. (UNICENTRO; Videoconferência)

Santa Maria, RS

2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cláudio Silveira e Carmen Thomas, pelo apoio e amor incondicional. Assim como a dedicação de me ensinarem valores como respeito, dedicação e honestidade.

A minha avó Terezinha Silveira, pela atenção que sempre me deu, conselhos, apoio, amor incondicional e por sempre estar ao meu lado, oferecendo condições para cursar o mestrado.

A minha irmã, Laura Thomas da Silveira pelo companheirismo, amor e compreensão que sempre teve comigo. Ao meu irmão, Caian Thomas da Silveira (*in memoriam*), pela honra de poder tê-lo como irmão.

Ao colega de profissão e professor Pedro Roberto de Azambuja Madruga pela amizade, apoio e recomendação do presente programa de mestrado. Ao também colega de profissão e professor Elódio Sebem, pela ajuda, ensino e amizade durante o mestrado e principalmente durante a finalização dessa dissertação.

Ao meu orientador, professor Lúcio de Paula Amaral, pela orientação desde o início da seleção do programa até a finalização do mesmo, ensino, apoio, atenção e amizade.

A minha namorada, Emmily Fonseca, pela compreensão de minha ausência muitas vezes durante o mestrado, pelo apoio que sempre me deu, paciência e carinho.

Aos demais amigos, familiares, colegas de pós-graduação e professores da Universidade Federal de Santa Maria, assim como do Colégio Politécnico que vieram de forma direta ou indireta somar.

Meu muito obrigado!

RESUMO

ANÁLISE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO ARBÓREA EM PARCELA DE ESTEPE ESTACIONAL SAVANICOLA, NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO, RS.

AUTOR: Cássio Thomas da Silveira
ORIENTADOR: Dr. Lúcio de Paula Amaral

No Setor Florestal a abordagem de Floresta de Precisão (FP) busca espaço no mercado para auxiliar na gestão florestal, ao otimizar os recursos disponíveis e localizar espacialmente os tratamentos silviculturais, manejo e colheita, visando aumentar a produção numa mesma área e diminuir os custos da mesma, baseando suas decisões na análise espacial da produção e dos fatores que a influenciam. Estas análises espaciais também podem ser utilizadas para melhor entendermos outros tipos de vegetação, a exemplo do Espinilho, com uso da abordagem de FP para seu estudo. Este trabalho visa aliar o uso das geotecnologias, com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e análises espaciais, ao inventário florestal para descrever a variabilidade espacial e associações do componente arbóreo no Parque Estadual do Espinilho (PESP), abordagem ainda não utilizada para este tipo de vegetação. O objetivo foi criar um banco de dados espacial e analisá-lo com a geoestatística, funções de densidade de kernel e processo pontual marcado para verificar o comportamento espacial de espécies arbóreas nativas encontradas em uma unidade amostral no PESP, localizado em Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. Os dados de inventário foram obtidos de um trabalho de pós-doutorado realizado por Watzlawick et al. (2014), dispostos em fichas de campo impressas. Foram realizadas as análises propostas com os softwares *GstarCAD*, *ArcGis*, *GS+*, *RStudio*, respectivamente para desenho da unidade e subunidades, geração de *shapefiles* e mapas de densidade, ajuste de semivariogramas e interpolação por krigagem ordinária pontual e processo pontual marcado com a função K de Ripley. Foram encontrados 578 árvores distribuídas em três espécies, *Acacia caven* (Molina) Molina, *Prosopis affinis* Spreng., *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron e indivíduos mortos. Foram ajustados semivariogramas e gerados interpolações para número total de árvores, espécies e *P. affinis*, contadas nas subunidades. Para estas mesmas variáveis e para *A. caven* e árvores mortas, a partir de suas próprias coordenadas, foram gerados mapas da função Kernel. O processo pontual marcado mostrou que *A. caven*, *P. nigra* e árvores mortas apresentaram completa independência espacial sem nenhum tipo de estruturação. Já *P. affinis*, com maior número de indivíduos (552 – 95,50%), apresentou comportamento agrupado entre seus indivíduos. Já no processo pontual marcado categórico com duas marcas, utilizado para verificar se há interação entre espécies, não foi encontrada nenhum tipo de dependência espacial. No entanto, *P. affinis* tende a repelir *A. caven* e a associar-se com indivíduos mortos.

Palavras-chave: Floresta de Precisão; Geoestatística; Kernel; Processo Pontual Marcado.

ABSTRACT

SPATIAL ANALYSIS OF TREE VEGETATION IN A SAMPLE UNIT OF ESTEPE ESTACIONAL SAVANICOLA, IN THE PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO, RS.

AUTHOR: Cássio Thomas da Silveira
ADVISOR: Dr. Lúcio de Paula Amaral

In the Forest sector, the Precision Forest (PF) approach seeks market space to assist forest management by optimizing available resources and spatially locating silvicultural practices, management and harvesting, aiming at increasing production in the same area and reducing the costs of based on spatial analysis of production and the factors influencing it. These spatial analyzes can also be used to better understand other types of vegetation, such as Espinilho, using the PF approach for this study. This work aims to combine the geotechnologies, with the Geographic Information System (GIS) and spatial analysis, to the forest inventory to describe the spatial variability and associations of the arboreal component in the Parque Estadual do Espinilho (PESP), an approach not yet used for this type of this vegetation. The objective was to create a spatial database and analyze it with geostatistics, kernel density functions and punctual process marked to verify the spatial behavior of native tree species found in a sample unit at PESP, located in Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brazil. The inventory data were obtained from a postdoctoral work by Watzlawick et al. (2014), arranged in printed field fiches. The GstarCAD, ArcGis, GS +, and RStudio software were designed for the design of the unit and subunits, shapefiles generation and density mapping, semivariogram adjustment and interpolation by punctual ordinary kriging and punctual process marked with the K function of Ripley. There were 578 trees distributed in three species, *Acacia caven* (Molina) Molina, *Prosopis affinis* Spreng., *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron and dead individuals. Semivariograms were adjusted and interpolations were generated for the total number of trees, species and *P. affinis* counted in the subunits. For these same variables and for *A. caven* and dead trees, Kernel functions maps were generated from their own coordinates. The marked punctual process showed that *A. caven*, *P. nigra* and dead trees presented complete spatial independence without some kind of structuring. Already *P. affinis*, with a larger number of individuals (552 - 95.50%), presented a grouped behavior among their individuals. In the punctual process marked categorical with two marks, used to verify if the interaction between species, no type of spatial dependence was found. However, *P. affinis* tends to repel *A. caven* and associate with dead individuals.

Keywords: Precision Forest; Geostatistics; Kernel; Punctual Process Marked.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Homologia ecológica do Bioma Pampa pelo mundo.	12
Figura 2 - Ocorrência dos biomas brasileiros.....	13
Figura 3 - Fisionomias do Estado do Rio Grande do Sul.....	14
Figura 4 - Localização do PESP no extremo oeste do Rio Grande do Sul.....	15
Figura 5 - Principais Espécies Arbóreas do PESP.	16
Figura 6 - Área do estudo e localização da UA no PESP, 2017.....	23
ARTIGO	
Figura 1 - Localização da unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.....	30
Figura 2 - Distribuição espacial das árvores observadas na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.	32
Figura 3 – Ajuste de semivariogramas na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.	34
Figura 4 - Variabilidade espacial da vegetação arbórea obtida por krigagem ordinária pontual na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.....	35
Figura 5 - Interpolações por funções de densidade de Kernel para a vegetação arbórea observada na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.....	35
Figura 6 - Processo Pontual Marcado para as espécies e indivíduos mortos ocorrentes na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.	37
Figura 7 - Processo pontual marcado categórico com duas marcas para as espécies e indivíduos mortos ocorrentes na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.	37

LISTA DE TABELAS

ARTIGO

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados da vegetação arbórea da unidade amostral instalada no Parque do Estadual do Espinilho, organizados por subunidades amostrais.	33
Tabela 2 – Parâmetros do ajuste de Semivariogramas e das Validações Cruzadas realizadas para os atributos de vegetação na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Alcance
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
ARP	Aeronaves Remotamente Pilotadas
As	Assimetria
BDG	Banco de Dados Geográficos
Co	Efeito Pepita
(Co+C)	Patamar
C/(C+Co)	Dependência Espacial
Cur	Curtose
CV	Coefficiente de variação
DE	Classe de Dependência Espacial
DP	Desvio Padrão
EP	Erro Padrão
FOM	Floresta Ombrófila Mista
FP	Floresta de Precisão
G	Área Basal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCRS	Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul
M	Média
Máx	Máximo
Me	Mediana
Mín	Mínimo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mo	Moda
NA	Número Total de Árvores
NE	Número de Espécies
PESP	Parque Estadual do Espinilho
PI	Plano de Informação
R ²	Coefficiente de Determinação
S ²	Variância da Amostra
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SQR	Soma dos Quadrados dos Resíduos
UA	Unidade Amostral
UC	Unidade de Conservação
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
Var	Variável
Σ	Soma

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	11
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO	12
1.1.1 Bioma Pampa	12
1.1.2 Parque Estadual do Espinilho (PESP)	14
1.1.3 Geotecnologias e Floresta de Precisão	17
1.1.4 Sistemas de Informações Geográficas	18
1.1.5 Análise Espacial	19
1.1.5.1 <i>Interpolação de dados Geográficos</i>	21
1.2 HIPÓTESES	22
1.3 PROPOSIÇÃO	22
1.4 MATERIAS E MÉTODOS	23
2 ARTIGO	26
RESUMO	27
ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	27
MATERIAIS E MÉTODOS	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39
3 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICE	45

1 APRESENTAÇÃO

Considerando à busca por informações precisas e rápidas de uma determinada área como forma de aumentar a produtividade, a agricultura de precisão vem se destacando na medida em que os avanços tecnológicos são aprimorados. Neste sentido, através da agricultura de precisão, pode-se otimizar o uso de insumos, corrigir deficiências nutritivas do solo, aumentando a produtividade, minimizando os custos e, conseqüentemente maximizando os lucros.

No setor florestal, a silvicultura e o manejo de precisão estão diretamente ligados ao uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses tipos de atividades florestais, quando realizadas com auxílio de geotecnologias, servem de base para caracterizar, classificar relações e demonstrar distribuições de espécies vegetais em uma determinada área. A aliança entre as atividades florestais e as geotecnologias está cada vez mais sendo adotada, pois permite analisar a distribuição espacial das árvores de uma determinada formação vegetacional, o que pode permitir um melhor entendimento das relações ali existentes a partir da análise do comportamento e dependência espacial das espécies. Isso configura o que hoje conhecemos como Floresta de Precisão, de maneira análoga à Agricultura de Precisão.

Em vista disso, busca-se através do levantamento fitossociológico dentro do manejo florestal de precisão, juntamente com a utilização da geotecnologia, realizar a análise espacial do comportamento de espécies florestais nativas, presentes em uma Unidade Amostral (UA) no Parque Estadual do Espinilho (PESP), sua distribuição e dependência espacial. Demonstrando assim, através do uso de mapas gerados, estatística clássica, interpolação em SIG e geoestatística; dependência espacial e inferências a respeito do comportamento das espécies florestais presentes no estudo.

A presente dissertação está estruturada por três partes. A primeira parte é a apresentação, contendo referencial teórico abrangente, englobando os principais assuntos do trabalho, hipóteses básica e alternativa, proposição e materiais e métodos onde se tem uma descrição geral do assunto. A segunda parte está organizada em formato de artigo científico que será submetido a um periódico de tiragem trimestral intitulado “Ciência Florestal”, contendo os resultados e discussões com a metodologia detalhada do trabalho nas respectivas normas da revista. A terceira parte é constituída pela conclusão da dissertação, referências bibliográficas e apêndice.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.1 Bioma Pampa

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017) o Bioma Pampa, também conhecido como Campos do Sul ou Campos Sulinos, está situado no sul do Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul, se estendendo ao Uruguai e a Argentina. Ocupando uma área de aproximadamente 176.500 km² (IBGE, 2004). O bioma Pampa apresenta homologia ecológica a outras regiões com espécies de fauna e flora em comum, como é o caso das Estepes localizadas na Europa e Ásia, as Pradarias na América do Norte e ao *Veld* na África do Sul, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Homologia ecológica do Bioma Pampa pelo mundo.

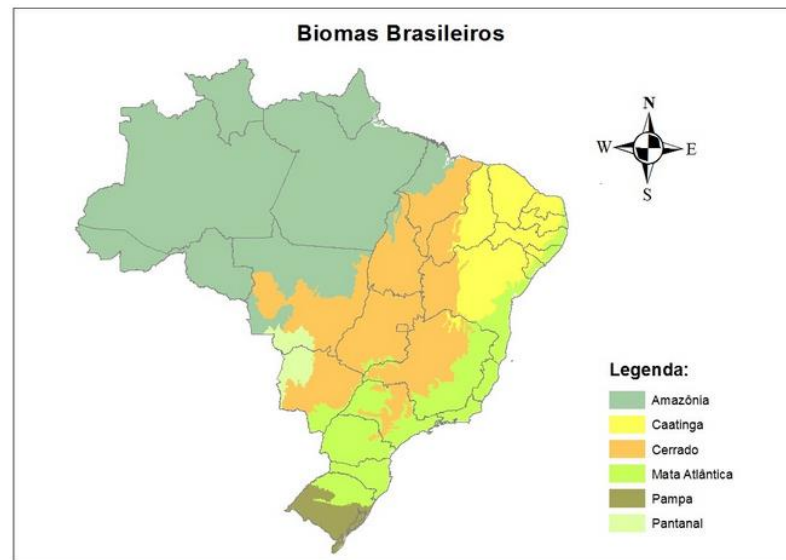


Fonte: adaptado de COSTA (2014).

Para o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2017), em 2015, o bioma possuía uma cobertura florestal estimada de 3.210.500 ha sendo 486.100 ha de áreas protegidas em Unidades de Conservação em 2016. Isto corresponde a 63% do território estadual e a 2,07% do território nacional. Suas paisagens naturais são variadas, de morros a coxilhas, de serras a planícies. O bioma também apresenta um imenso patrimônio cultural associado à biodiversidade. A fisionomia do Pampa se caracteriza pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, formações arbustivas, fragmentos de florestas, butiazais, banhados e afloramentos rochosos.

No Brasil a vegetação do Parque Estadual do Espinilho ocorre no Bioma Pampa (Figura 2), sendo caracterizada como Savana Estépica Parque (IBGE, 2004; 2012) que tem por característica apresentar denso estrato herbáceo e árvores isoladas (REDIN et al., 2017). O Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012) descreve o termo Estepe, como o termo utilizado por apresentar homologia ecológica comum em outras áreas mundiais, inclusive a Neotropical Brasileira. Essas estepes neotropicais caracterizam-se como áreas de relevo plano ou suave ondulado, recobertas por vegetação herbácea contínua. A Campanha gaúcha e os Pampas argentinos são exemplos dessas estepes neotropicais.

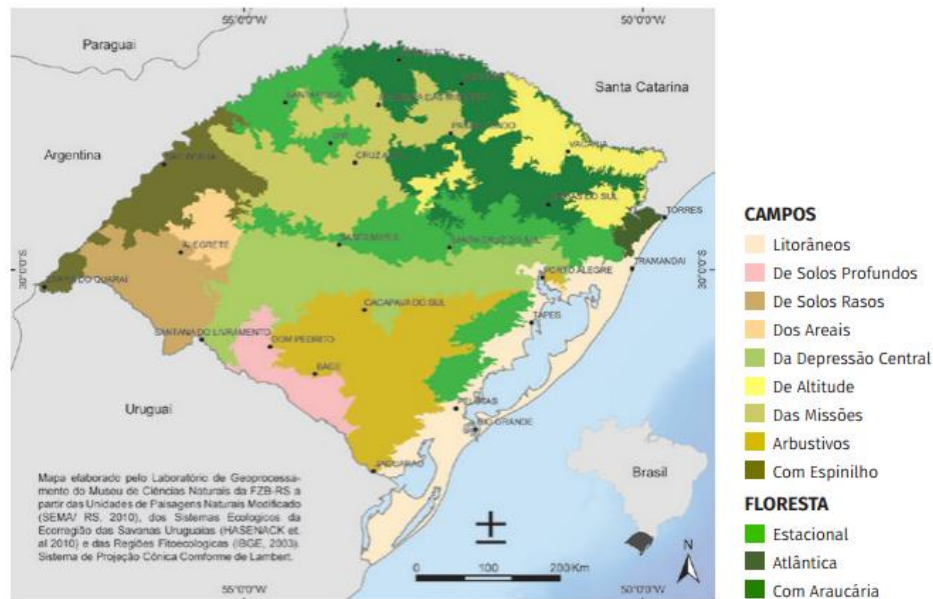
Figura 2 - Ocorrência dos biomas brasileiros



Fonte: adaptado de IBGE (2009).

O relevo é suave de topografia plana e possui altitudes que variam de 50 a 100 metros, com esporádicas elevações que chegam a 300m em coxilhas. O clima da região apresenta tendências para a continentalidade, com precipitações em torno de 1400 mm. As principais ameaças encontradas são a pecuária, orizicultura e silvicultura, esta última em menor escala, principalmente nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis. Os campos e banhados encontram-se restringidos em função das práticas agrícolas, restando assim, poucas áreas remanescentes no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Sul, como pode ser observado na Figura 3 (IFN 1983; CARNEIRO et al. 2016).

Figura 3 - Fisionomias do Estado do Rio Grande do Sul



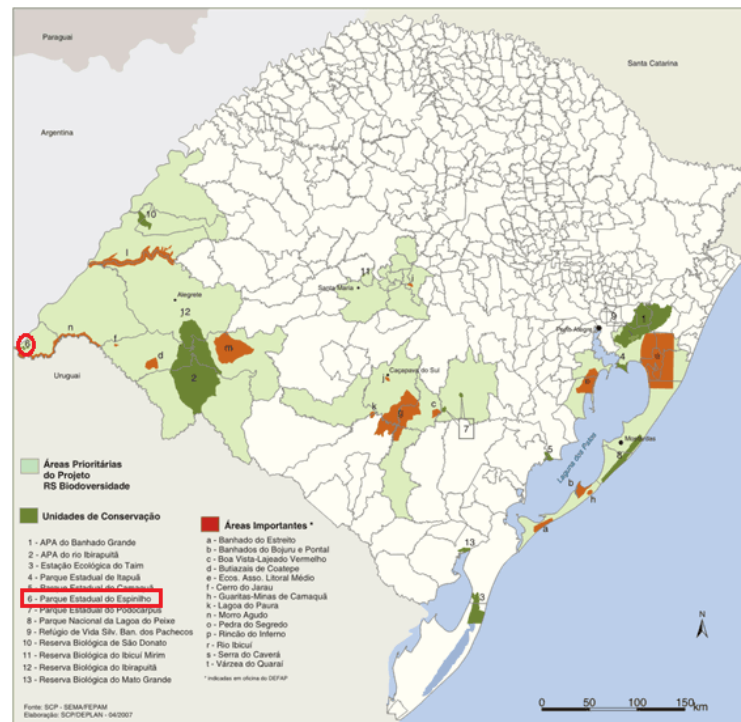
Fonte: adaptado de CARNEIRO (2016).

Dentre as principais espécies nativas mais encontradas no Bioma Pampa, as quais caracterizam a imagem de Savana Estépica, destaca-se o domínio de espécies de gramíneas e a presença esparsa de indivíduos de *Acacia caven* (Molina) Molina (Espinilho); espécie arbórea arbustiva de porte pequeno a médio, com fustes tortuosos, inserção precoce de galhos e presença de espinhos.

1.1.2 Parque Estadual do Espinilho (PESP)

Criado em 1975 juntamente com outras sete áreas com o objetivo principal de proteger ecossistemas significativos do Bioma Pampa, o Parque Estadual do Espinilho (PESP) localiza-se no extremo oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 4) e está inserido na Microbacia do Arroio Quarai-Chico, bacia hidrográfica do rio Uruguai. A Unidade de Conservação (UC) em questão possui área decretada de 1.617,14 ha, no limite com a Argentina e o Uruguai. Localiza-se em área de tríplice fronteira, com influência dos rios Uruguai e Quaraí. O acesso à área do Parque é feito somente através da rodovia federal BR 472, estrada que corta o Parque em zona conflitante à UC (SEMA, 2009).

Figura 4 - Localização do PESP no extremo oeste do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de Projeto RS Biodiversidade (2017).

De acordo com a bibliografia consultada, a primeira citação sobre a existência do PESP no Rio Grande do Sul foi de Rambo (1956), em que o autor observa em sua obra “A fisionomia do Rio Grande do Sul” a importância da vegetação presente no local e o tamanho da sua área, segundo ele pequena, comparada com as áreas encontradas pelo mesmo autor nas províncias de Corrientes e Entre Rios na República Argentina.

Segundo o Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul (IFCRS, 2002), a formação do PESP, em seus estágios iniciais, médios e avançados de sucessão, ocupa uma área de 22,89 km² (2.289 ha), o que representa 0,01% da superfície do Estado e 0,05% da área total coberta com florestas naturais. Quanto aos aspectos legais da criação do PESP, o mesmo foi criado através do Decreto N° 23.798, de 12 de março de 1975 que cria Parques Estaduais e Reservas Biológicas e dá outras providências. O Parque Estadual do Espinhalho foi ampliado através do Decreto N° 41.440, de 28 de fevereiro de 2002. Quanto a elaboração do seu Plano de Manejo (SEMA, 2009), realizou-se através de compensação ambiental da empresa AES Sul Uruguaiana, visando o manejo da Unidade.

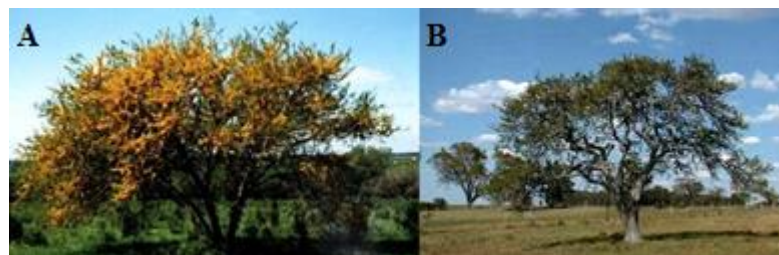
Segundo o Decreto N° 23.798/1975:

- As áreas verdes constituem bem natural essencial à sobrevivência das espécies biológicas, e, em especial, do homem;

- Inúmeras espécies animais e vegetais do Estado estão desaparecendo antes mesmo de conhecimentos estaduais;
- As áreas verdes exercem funções primordiais para a própria manutenção das atividades agropecuárias no Estado;
- Existe necessidade de preservar da extração intensa de recursos naturais e os ecossistemas do território estadual considerando, finalmente;
- Os Parques Estaduais e Reservas Biológicas destinam-se a atender às finalidades previstas na Convenção para Proteção da Flora, da Fauna e das Belezas Cênicas dos Países da América.

Segundo ainda seu plano de manejo (SEMA, 2009), a implantação do PESP tem como principal justificativa a conservação da formação que dá nome ao Parque. A formação vegetal característica, é composta por *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. e *Acacia caven* (Molina) Molina, únicas no estado e país como podem ser observadas na Figura 5, motivo que justificaria a criação de uma UC na categoria Parque. Além da formação vegetal única, o Parque abriga espécies raras da fauna de felinos como o gato palheiro (*Leopardus pajeros*), canídeos como o lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*), cervídeos, representados pelo veado campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*), aves como o cardeal amarelo (*Gubernatrix cristata*), e a formiga cortadeira (*Atta vollenweideri*). Desta forma, o PESP não só justifica a sua implantação, como passa a fazer parte das principais UC do país.

Figura 5 - Principais Espécies Arbóreas do PESP.



Legenda: A= *Prosopis affinis*; B= *Acacia caven*
 Fonte: Adaptada da FAO, fotos por P. Izaguirre.

Marchiori et al. (2014) descreve que a origem do termo “Parque do Espinilho” foi equivocadamente adotada pelos seus proponentes na sua criação, baseado em uma leitura apressada da obra “A Fisionomia do Rio Grande do Sul - Ensaio de monografia natural”, de autoria do botânico gaúcho Balduino Rambo de 1942, o qual equivoca-se com os nomes

populares das espécies *Prosopis affinis* Spreng e *Acacia caven* (Molina) Molina, denominando-as de algarrobo e inhanduvaí respectivamente em sua obra.

A área delimitada pelo decreto de criação do Parque Estadual, no que diz respeito à vegetação, percebe-se uma visível distinção de duas áreas: uma formação típica de Parque, com vegetação bastante singular, e uma mata ciliar, com espécies de ocorrência frequente em outros ambientes semelhantes na região. Na área do PESP encontram-se três tipologias básicas de vegetação (mata ciliar, parque de Inhanduvá e parque de Algarrobo), além de uma diversificada comunidade de macrófitas aquáticas (GALVANI, 2003; MARCHIORI, 2014).

Fatores morfoclimáticos e geomorfológicos influenciam os padrões de estrutura e de distribuição das espécies de plantas que compõem a vegetação (FERNANDES, 1998), sendo também influenciada por pastoreio e regime de fogo (PILLAR E QUADROS, 1997). Em vista disso, é de extrema importância o estudo da variabilidade espacial das espécies arbóreas ocorrentes e sua dependência espacial, através do uso das geotecnologias associada a análise espacial dentro do levantamento fitossociológico.

1.1.3 Geotecnologias e Floresta de Precisão

Dentre as técnicas utilizadas na abordagem da Floresta de Precisão, para incrementar na qualidade do planejamento florestal, estão o uso de algumas geotecnologias tais como o posicionamento pelo sistemas globais de navegação por satélites (GNSS) composto pelas constalações GPS (*Global Positioning System*), GLONAS (*Global navigation sputnik system*), GALILEO (Sistema de Navegação por Satélite da União Europeia), dentre outros, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Banco de Dados Geográficos (BDG), Aerofotogrametria convencional, uso de LIDAR e plataformas alternativas para aquisição de imagens como Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) dentre outras.

Para Bossle (2015) a geotecnologia é uma área relativamente nova do conhecimento humano, pois utiliza-se de equipamentos eletrônicos (computadores) e de um conjunto de técnicas como cartografia, sensoriamento remoto, GPS e SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Em um conceito mais poético, geoprocessamento, significa implantar um novo olhar sobre o espaço, um processo que traz consigo um progresso na grafia ou representação da Terra. Já utilizando um conceito mais técnico, temos que geoprocessamento é o conjunto de técnicas computacionais que opera sobre banco de dados georreferenciados para transformar

em informação relevante a finalidade do estudo, tendo assim que levar em conta as estruturas de percepção ambiental que auxiliariam a maior eficiência nesta transformação (MOURA, 2014; SILVA, 2001; LONGLEY et al., 2013).

Quando existe a necessidade de converter dados oriundos de levantamentos fitossociológicos ou outras formas de coleta de dados, se empregam geralmente o posicionamento GNSS e também os SIG para poder, primeiramente atribuir uma localização para os dados, transformando-os em dados geográficos, para posteriormente analisá-los com uso de SIG ou outros *softwares*. Ferramentas essas que ao serem utilizadas em conjunto, auxiliam na tomada de decisões e na precisão das intervenções a serem realizadas na floresta, o que configura hoje o que conhecemos como Floresta de Precisão, englobando a silvicultura, o manejo, a colheita, dentre outros.

Atualmente dentro da Floresta de Precisão, o termo silvicultura/manejo florestal de precisão, vem ganhando importância na medida em que se busca uma maior produtividade com o menor desperdício em um sistema produtivo. Conforme Sanquetta (2015) o termo manejo florestal de precisão, trata-se de um conjunto de técnicas que se utiliza da tecnologia de detectar e analisar um povoamento, através de ferramentas analíticas, dando suporte econômico e ambiental específico, auxiliando na tomada de decisão para a cadeia produtiva florestal, até o consumidor final dos produtos florestais.

1.1.4 Sistemas de Informações Geográficas

Dentro das geotecnologias, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas que recuperam informações tomando como base as características alfanuméricas e sua localização espacial realizando o tratamento computacional de dados geográficos. Com este sistema é possível ter uma visão ampla do ambiente de trabalho para quem está manuseando, permitindo facilidade no acesso a todas as informações disponíveis referentes a um determinado assunto com base na localização geográfica. Por isso a geometria e os atributos dos dados de um SIG devem estar georreferenciados, ou seja, representados em uma projeção cartográfica a partir de sua localização na superfície terrestre (DAVIS E CÂMARA, 2016).

Os SIG são importantes geotecnologias, especialmente quando aplicadas no setor florestal analisando a dinâmica da paisagem florestal, pois é o meio onde concomitantemente utilizamos os dados provenientes de um georreferenciamento e refinamos os resultados com o uso do SIG. Em outras palavras, para termos análises espaciais rebuscadas com alto nível de

detalhamento, deve-se utilizar os dados georreferenciados coletados na floresta dentro do ambiente de um SIG. Como exemplo de aplicação na área florestal, cita-se a determinação de zonas de produção de uma população de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul, desenvolvido por Amaral (2014).

Os SIG dependem basicamente de mapas e de como podem ser estabelecidas, claramente, as relações entre eles. Dessa forma a história dos SIG está de alguma maneira, relacionada com o início da produção de mapas. Os primeiros mapas tiveram como objetivos centrais ajudar a navegação e auxiliar as operações militares. Nos tempos romanos, os agrimensores ou medidores de terras constituíam importante parte do governo e com o declínio do Império romano, houve uma paralisação dos levantamentos e, como consequência, uma diminuição na produção de mapas (SILVA, 2003). Em sua maioria, os SIG são programas computacionais propostos a trabalhar através da utilização da matemática, as informações geográficas e ou alfanuméricas de determinado estudo, gerando assim informações baseadas em algoritmos pré-definidos que variam de acordo com o SIG utilizado (BOSSLE, 2015).

Câmara et al. (2005) mostram a organização do ambiente de trabalho de um SIG, basicamente sob duas formas de organização. A organização baseada em um banco de dados geográficos, onde o usuário define os conceitos associados ao banco de dados geográficos existentes, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas; e a organização baseada em projetos, onde se define primeiramente um referencial geográfico e posteriormente as entidades geográficas que compõem o projeto. Níveis, Camadas ou Plano de Informação (PI) são o que compõem um projeto, variando em número, tipos de formatos e de temas de acordo com a tarefa ou estudo a ser realizado. Os PI de um projeto podem pertencer a diferentes classes de dados dependendo do formato de representação de dados disponíveis no SIG utilizado.

1.1.5 Análise Espacial

A análise espacial está diretamente ligada ao mundo dos SIG, pois ela inclui todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos adicionando valores a eles, apoiando assim na tomada de decisões e revelando padrões e irregularidades que não são vistos sem a realização da mesma. Em outras palavras, é o processo onde se transforma dados brutos em informação direcionada e útil para a finalidade

do trabalho científico, auxiliando em uma tomada de decisão mais eficiente (FITZ, 2008; LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Para outros autores, é o processo de manipular as informações espaciais dos dados originais para extrair novas informações e significados. Concomitantemente, a análise espacial é executada com um SIG, fornecendo assim, ferramentas de análise espacial para calcular estatísticas e realizar atividades de geoprocessamento, como é o caso da interpolação de dados (CHANG, 2006; SILVA, 2003).

Longley et al. (2013, p.352) relatam que “A análise espacial pode revelar coisas que, de outro modo, seriam invisíveis – ela pode tornar explícito o que está implícito.”

Segundo Meirelles et al. (2007) por permitir representar a territorialidade e a interação de possíveis relacionamentos entre as entidades ambientais, muitas representações computacionais do ambiente são extremamente úteis. Essas representações podem fazer parte de uma estrutura maior que as contenha e permita a investigação de relações ali diagnosticadas e representadas. Essa “edição” que deve ser gradual e ordenada pode ser separada em duas etapas; a etapa inicial diz respeito à construção de modelos que representem feições da realidade ambiental. A partir disso, transitasse para a etapa seguinte que é a modelagem final, onde se realiza o tratamento dos dados para o estudo.

A análise espacial é o ponto chave para a interpretação de todas as transformações, manipulações e métodos que podem ter sido aplicados aos dados geográficos dentro de um SIG (LONGLEY et al., 2013). Cabe ao operador explorar as relações existentes desses dados através da sobreposição de camadas e na utilização de ferramentas que a maioria dos SIG possuem, como exemplo “*Spatial Analyst Tools*” (ESRI 2002).

Além disso, dentro da análise espacial encontram-se várias técnicas estatísticas para interpretação de dados, como exemplo, o Processo Pontual Marcado e que também pode ser Categórico com duas marcas, definido como um modelo de ocorrência identificado como pontos localizados no espaço, ou seja, considera-se uma variável aleatória como marca e associa-se ela a pontos, tendo como objetivo principal, verificar se existe independência entre as marcas e pontos (OLINDA, 2010).

Como exemplo, no setor florestal, pode-se citar o trabalho realizado por Sebem (2017), o qual utilizou-se do Processo Pontual Marcado para analisar a dependência e comportamento espacial de famílias botânicas mais ocorrentes em uma área de Floresta Ombrófila Mista (FOM) na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, demonstrando suas dependências e comportamento espacial.

1.1.5.1 *Interpolação de dados Geográficos*

A interpolação de dados é o processo de determinar valores desconhecidos, ou não capturados na amostragem, a partir de um atributo conhecido ou amostrado. Esse processo é constituído de duas partes; a primeira define um relacionamento de vizinhança, ou seja, identificar quais pontos amostrados são os vizinhos mais correlacionados; e a segunda, define métodos que calcularão os valores desconhecidos. A interpolação assume que o método é aproximado pela função matemática usada, então os valores desconhecidos são então calculados de acordo com a função utilizada. Os melhores resultados podem ser analisados quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno que estipulou, em vista disso é necessário haver um conhecimento prévio do indivíduo responsável pelo tratamento desses dados, para obter resultados razoáveis. Ainda segundo o autor, as técnicas usuais de interpolação são constituídas por uma variedade de métodos, como médias, combinação ponderada, polígonos de Voronoi, interpolador pelo inverso da distância, triangulação e krigagem (MIRANDA, 2015).

Partindo do conceito que a interpolação de dados geográficos nos dá valores em pontos os quais não temos medidas, muitos fenômenos podem ser medidos e estar envolvidos na análise espacial. Podemos citar a precipitação, temperatura, parâmetros do solo, características de águas subterrâneas, fontes de poluição e dados da vegetação. Não é possível medir os valores do fenômeno particular em todos os pontos da amostragem, mas apenas em pontos onde a mesma obteve resultados, para os demais, utiliza-se da interpolação para estimarmos seus valores (SÁRKÖZY, 1999).

Para Longley et al., (2013), existem dois tipos de interpoladores: os baseados na distância, onde as semelhanças e interações diminuem ao longo da distância amostrada do ponto conhecido ao que se quer estimar de forma sistemática; e os interpoladores baseados na densidade das observações, onde dentro das geotecnologias, faz referência a um método estatístico de estimação de curvas de densidades, como por exemplo, os mapas de distribuição de densidade de Kernel. Neste método cada uma das observações é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo. Segundo o mesmo autor a interpolação pela densidade de Kernel, refere-se a cada ponto amostrado, aplicar uma “função Kernel” sendo que o conjunto dessas funções são reunidas para se obter a superfície e dentro dela cada ponto é substituído pela sua função Kernel, sendo assim várias funções Kernel são reunidas para se obter uma superfície agregada, ou seja, agregam-se os pontos amostrais e gera-se um campo contínuo através de suas densidades.

Mayer et al. (2015) mostram em seu trabalho o uso do interpolador Kernel para explicar os possíveis conflitos da arborização urbana, caso a mesma não seja implantada de forma adequada, através da análise espacial. Yu e Ai (2014) demonstram que a utilização do estimador de densidade de Kernel pode ser aplicado na análise espacial do planejamento urbano incluindo ainda, para inferir a respeito de local de negócios e certas recomendações sociais.

1.2 HIPÓTESES

A hipótese básica do presente trabalho, é que por se tratar do Bioma Pampa, a vegetação do PESP esta disposta na forma de uma matriz de vegetação gramíneo-arbustiva contendo espécies arbóreas dispersas ao longo dessa vegetação, devido a fatores bióticos como a ação antrópica, pastoreio, orizicultura e; fatores abióticos como, vento, incêndios florestais e regeneração natural. Essas condições nos levam a considerar que a distribuição dessas árvores ocorra de forma aleatória sem apresentar dependência ou estrutura espacial na ocorrência dos indivíduos e também na variabilidade espacial de seus atributos.

A hipótese alternativa é que ocorra uma certa estrutura de dependência espacial em curtas distancias em função de visualmente notar-se um certo agrupamento dos indivíduos arbóreos que ocorrem na vegetação do PESP, principalmente com a espécie mais ocorrente.

1.3 PROPOSIÇÃO

A presente dissertação tem como principal objetivo demonstrar a distribuição e dependência espacial de espécies florestais nativas, através do uso da geotecnologia e da geoestatística como ferramentas integradas dentro de um SIG em uma unidade amostral permanente localizada na Unidade de Conservação Parque Estadual do Espinilho no sul do estado do Rio Grande do Sul.

Assim, essa dissertação tem como objetivos específicos:

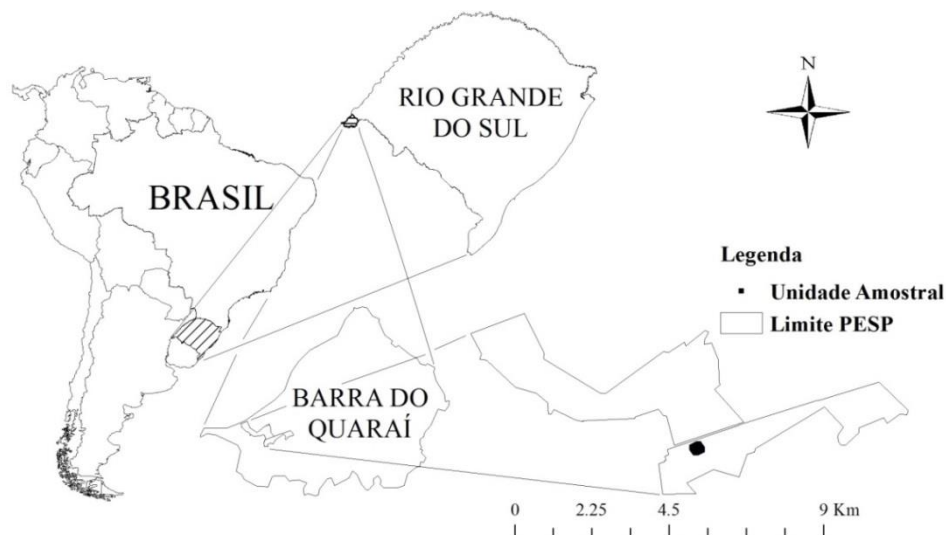
- Construir um banco de dados geográficos para ser analisado com uso de SIG, a partir das planilhas de campo contendo os dados originais do levantamento realizado no PESP por Watzlawick et al. (2014);

- Demonstrar através do uso de interpoladores, a distribuição espacial dos indivíduos florestais presentes na UA;
- Verificar se há estrutura de dependência espacial das principais espécies com abordagem geoestatística;
- Utilizar-se do Processo Pontual Marcado para verificar o comportamento espacial das espécies encontradas, bem como o relacionamento espacial entre elas (associação ou repulsão);
- Entender o padrão espacial e associações das espécies arbóreas presentes na UA do PESP.

1.4 MATERIAS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Unidade de Conservação Parque Estadual do Espinilho (PESP), localizado no município brasileiro de Barra do Quaraí, no extremo sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, conforme Figura 6. A partir de dados de um levantamento fitossociológico realizado anteriormente em uma unidade amostral permanente.

Figura 6 - Área do estudo e localização da UA no PESP, 2017.



Fonte: Autor.

A unidade de conservação possui área decretada de 1.617,14ha e foi criada através do Decreto N° 23.798, de 12 de março de 1975 que cria Parques Estaduais e Reservas Biológicas e dá outras providências. A vegetação do PESP é composta por árvores pequenas, isoladas ou situadas em pequenos grupos, com dossel descontínuo. O clima da região é Cfa conforme

classificação de Köppen, com médias anuais de temperatura de 23,5 °C. O solo do Parque do Espinilho está classificado como Chernossolo, moderadamente drenado, de coloração bruno-escura a bruno-acinzentada muito escura. (REDIN et al., 2011, 2017; WATZLAWICK et al., 2010, 2014).

A coleta de dados da área do estudo foi obtida por uma pesquisa realizada no local em 2009 publicada por Watzlawick et al. (2014), a qual consistiu em um levantamento florístico e análise fitossociológica a partir da instalação de uma unidade amostral permanente, com dimensão de 4 ha (200 x 200 m), subdividida em 400 subunidades de 100 m² (10 x 10 m).

Os dados dendrométricos circunferência e altura foram medidos com fita métrica e o hipsômetro Vertex III respectivamente, de todos os indivíduos arbóreos com circunferência (C) \geq 15,7 cm, a 30 cm do nível do solo. A identificação botânica foi realizada inicialmente *in loco*, bem como consultas ao Herbário do Departamento de Ciências Florestais (HDCF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul. Além das medições citadas anteriormente, aferiu-se a observação pontual, a qual foi feita a partir da coleta das distâncias das árvores presentes em cada subunidade, transcritas na planilha de campo, onde se constaram os dados do levantamento e utilizou-se um receptor GPS de navegação para a coleta de coordenadas geográficas dos quatro cantos da unidade amostral.

No presente estudo, foram encontradas na unidade amostral permanente três espécies arbóreo arbustivas: *Acacia caven* (Molina) Molina; *Prosopis affinis* Spreng. e *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. Ambas espécies predominantes na vegetação local do PESP, assim como foram levantadas as presenças de árvores mortas. Os dados de campo do levantamento foram tabulados utilizando o editor de planilhas MSExcel bem como realizou-se a estatística descritiva através da ferramenta “Análise de Dados”. No *software* GstarCAD 2017 (versão demonstrativa) realizou-se a divisão das 400 (quatrocentas) subunidades, a partir das coordenadas dos pontos das extremidades da unidade amostral. Após esse processo, realizou-se a elaboração de um *script* (apêndice) no programa estatístico *RStudio*, interface otimizada do *software* R com a utilização da biblioteca *spatstat* para elaboração do processo pontual marcado e processo pontual marcado categórico com duas marcas para as espécies e indivíduos mortos, com a função K de Ripley, respectivamente.

Dentro do SIG *ArcGIS*[®], os dados do levantamento foram importados e realizou-se a interpolação pela densidade de Kernel com tamanho de célula de saída igual a 0,1 metros e raio de busca de 6 metros. Posteriormente no *software* geoestatístico *GS+* importou-se os dados do presente trabalho para a elaboração de semivariogramas, buscando identificar

através da validação cruzada e do semivariograma obtido, possível dependência espacial dos indivíduos presentes na área.

2 ARTIGO

ANÁLISE ESPACIAL E ASSOCIAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO

SPATIAL ANALYSIS AND ARBORIAL SPECIES ASSOCIATIONS IN THE PARQUE
ESTADUAL DO ESPINILHO

Cássio Thomas da Silveira¹, Lucio de Paula Amaral², Luciano Farinha Watzlawick³

¹ Engenheiro Florestal, Mestrando do PPGAP/UFSM, Av. Roraima, 1000 - Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, eng.flor.cassio@gmail.com

² Engenheiro Florestal, Dr. Professor DER/CCR/UFSM, PPGAP/UFSM, Campus Sede - Prédio 44J - 2º piso, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, amaralufsm@gmail.com

³ Engenheiro Florestal, Dr. Professor Departamento de Agronomia, PGA/UNICENTRO, Rua Presidente Zacarias, 875, Santa Cruz, 85015-430, Guarapuava, PR, Brasil, farinha@unicentro.br

A ser submetido ao periódico Ciência Florestal, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

**ANÁLISE ESPACIAL E ASSOCIAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO PARQUE
ESTADUAL DO ESPINILHO**
SPATIAL ANALYSIS AND ARBORIAL SPECIES ASSOCIATIONS IN THE PARQUE
ESTADUAL DO ESPINILHO

RESUMO

Os levantamentos fitossociológicos, quando utilizados com auxílio de geotecnologias, servem para caracterizar, classificar relações e demonstrar distribuições de espécies vegetais. Este tipo de estudo é de extrema importância, pois permite analisar a distribuição espacial das árvores de uma determinada formação vegetacional, o que pode permitir um melhor entendimento das relações ali existentes a partir da análise do comportamento espacial dos indivíduos. O presente trabalho tem por objetivo analisar a dependência e comportamento espacial das espécies arbóreas nativas *Prosopis affinis* Spreng., *Acacia caven* (Molina) Molina, *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron., e indivíduos arbóreos mortos, encontradas em uma unidade amostral permanente no Parque Estadual do Espinilho, localizado em Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. Utilizando-se de levantamento fitossociológico previamente realizado, sistemas de informações geográficas e softwares geoestatísticos, buscando demonstrar e validar as interações e dependências espaciais ali existentes. Foi possível identificar a distribuição espacial das espécies, inferir a respeito da dependência espacial das mesmas e demonstrar, através da função de densidade de kernel e processo pontual marcado, o agrupamento e a variabilidade espacial da espécie mais encontrada, *P. affinis*, que tende a associar-se com indivíduos mortos e a repelir *A. caven*, e a completa aleatoriedade na ocorrência dos demais indivíduos arbóreos nativos presentes nesse levantamento. Ressalta-se ainda que, a base de dados geográficos gerada, poderá auxiliar futuros estudos, embasados na análise de padrões espaciais sobre a vegetação do Parque Estadual do Espinilho e poderá dar base de estudos para outras localidades.

Palavras-chave: Associação espacial; Processo Pontual; funções de Kernel; Floresta de Precisão.

ABSTRACT

The phytosociological surveys, when used with the aid of geotechnologies, serve to characterize, classify relationships and demonstrate distributions of plant species. This type of study is extremely important because it allows to analyze a spatial distribution of the trees of a certain vegetation formation, which may allow a better understanding of the existing relationships from the analysis of the spatial behavior of the individuals. The objective of this work is to analyze the dependence and spatial behavior of the native tree species *Prosopis affinis* Spreng., *Acacia caven* (Molina) Molina, *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron., and dead tree objects found in a permanent sample unit in the Parque Estadual do Espinilho, located in Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, Brazil. Using a previously performed phytosociological survey, geographic information systems and geostatistical software, seeking to demonstrate and validate as existing spatial interactions and dependencies. It was possible to identify a spatial distribution of the species, to infer a relation of the spatial dependence and to demonstrate, through the Kernel density function and punctual process marked, the grouping and spatial variability of the most commonly found species, *P. affinis*, with the associated dead individuals and repelling *A. caven*, and complete randomness in the occurrence of the other native arboreal present in this survey. It is also worth noting that the geographic database generated may help future studies, based on the analysis of spatial patterns on the vegetation of the Parque Estadual do Espinilho and may provide a basis for studies to other localities.

Keywords: Spatial association; Punctual Process; Kernel Functions; Precision Forest.

INTRODUÇÃO

A integração dos resultados de levantamentos fitossociológicos com o uso das geotecnologias, incluindo o geoprocessamento com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), podem melhorar resultados que antes eram limitados e gerais, obtendo maior quantidade de informações, contidas em produtos digitais ou analógicos (mapas ou planos de informação), que podem ser considerados ferramentas modernas e precisas utilizadas na gestão dos recursos florestais. Esta abordagem integra o uso das geotecnologias aos dados da floresta ou vegetação, tornando-os aptos ao uso de análises espaciais para gerar novas informações e fazem parte do que se chama Silvicultura de Precisão

(GONÇALVES e ÁLVARES, 2005), ou ainda de forma mais abrangente Floresta de Precisão. Uma das bases da Silvicultura de Precisão é a visualização e o entendimento detalhado da estrutura de variação espacial e temporal dos elementos do meio físico que condicionam a produtividade (GONÇALVES E ÁLVARES, 2005), ou outros atributos de interesse, como a composição de espécies na vegetação nativa, a exemplo da vegetação do Parque Estadual do Espinilho (PESP) no sul do Brasil.

O Espinilho é uma vegetação única, que não ocorre em outras partes do país, presente no bioma Pampa, sendo uma forma de vegetação campestre, rica em arbustos lenhosos com algumas espécies de porte arbóreo, conferindo a característica de Savana-Estépica Parque (RAMBO, 1956). O termo Savana-Estépica denomina um tipo de vegetação *core* árida brasileira, tendo em sua composição florística homologias bastante significativas com o Chaco Boreal argentino-boliviano-paraguaio (IBGE, 2012). Leite (2002) enfatiza o xeromorfismo presente nesta vegetação, geralmente associado à Savana, devido a ocorrência de plantas decíduas, espinhosas, presença de plantas cactáceas e bromeliáceas, na qual a vegetação herbáceo-graminóide também perde parte das suas partes aéreas durante períodos desfavoráveis.

O Parque do Espinilho é uma disjunção da Savana-Estépica no Brasil. Localiza-se na barra do rio Quaraí no extremo sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo um tipo de vegetação associada a clima sem período seco, porém sujeita a ação dessecante de frentes frias, com fisionomia marcada com grande gregarismo de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron e *Prosopis affinis* Spreng. (REITZ et al., 1983). Marchiori e Longhi (1985) relataram que a vegetação arbórea do Espinilho é resultante da associação das espécies *Prosopis affinis*, *Prosopis nigra*, *Vachellia caven* (atualmente *Acacia caven* Molina Molina), *Parkinsonia aculeata* L. e *Aspidosperma quebracho-blanco*. Existe também a influência da ação antrópica, alterando esta vegetação, com atividades de pastoreio intensivo, substituição da vegetação nativa por pastagens e agricultura (TÁLAMO et al., 2009; WATZLAWICK et al., 2010, REDIN et al., 2017).

Para Simas et al. (2002) esta vegetação é composta por árvores pequenas, isoladas ou em pequenos grupos, sem sobreposição de copas, possibilitando o crescimento de gramíneas e arbustos, oferecendo condições atrativas ao gado, como pastoreio e sombra. Esta condição de distribuição espacial das árvores no PESP ainda não foi estudada, bem como as relações espaciais entre a distribuição dos indivíduos das espécies arbóreas nesta vegetação. Esta situação pode ser avaliada utilizando as geotecnologias, com abordagem da silvicultura de precisão.

Nesta linha de pesquisa proposta, existem alguns trabalhos realizados nestas concepções voltados para análise da vegetação. Por exemplo, Neves et al. (2010) utilizaram geostatística para analisar a biodiversidade em fragmentos de mata nativa em meio a reflorestamento de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., Amaral et al. (2013) avaliaram a influência das alterações antrópicas em uma Floresta Ombrófila Mista na distribuições espacial das espécies *Dicksonia sellowiana* Hook. (xaxim), *Mimosa scabrella* Benth. (bracatinga) e *Ilex paraguariensis* A. St.-Hill. (erva-mate), ou ainda Sebem (2017) analisou a distribuição espacial de famílias botânicas numa Floresta Ombrófila Mista na Flona de São Francisco de Paula, utilizando processo pontual marcado e geostatística, dentre outras iniciativas. Além do uso das geotecnologias, estes trabalhos têm em comum a análise do comportamento espacial da vegetação, no qual se considerou haver alguma forma de dependência espacial na ocorrência dos indivíduos, espécies ou famílias, ou ainda nos comportamentos dos atributos da vegetação (SOARES et al., 2006; AMARAL et al., 2013). Porém, provavelmente, esse comportamento não ocorra na vegetação arbórea do Espinilho, assim como pode ser considerado no relato de Simas et al. (2002), hipótese que rege este trabalho, que definirá a análise espacial mais adequada para a natureza desta vegetação.

Cada vez mais, este tipo de estudo está sendo adotado por pesquisadores capacitados a trabalhar com os SIG e as demais geotecnologias, bem como com a abordagem de silvicultura de precisão. Para Amaral (2014), os SIG são importantes geotecnologias, principalmente quando aplicadas no setor florestal, na análise da dinâmica de paisagens florestais, porque é o meio onde utilizamos os dados provenientes de um georreferenciamento (coleta de coordenadas geográficas do campo) e os refinamos com o uso do SIG, através de diferentes resultados. Ou seja, para produzirmos análises espaciais ricas em detalhamento, deve-se utilizar os dados georreferenciados coletados na floresta dentro do ambiente de SIG.

A análise espacial está diretamente ligada ao mundo dos SIG, pois nela constam-se todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser acrescentados e aplicados aos dados geográficos, adicionando valores aos dados não amostrados a partir de técnicas estatísticas de interpolação que geram esses valores a partir dos dados já amostrados. Apoiando assim na tomada de decisões e revelando padrões e irregularidades que não são vistos sem a realização da mesma. Em outras palavras, é o processo no qual se transforma dados brutos em informação direcionada e útil para a finalidade de cada especificidade de trabalho científico ou técnico (FITZ, 2008; LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Dependendo do comportamento espacial das árvores e de seus atributos na vegetação do Parque do Espinilho podem ser consideradas duas situações. A primeira situação seria a não ocorrência de dependência espacial, levando em consideração a descrição de Simas et al. (2002) para a disposição espacial e características das árvores no Espinilho, na qual a geoestatística não seria aplicada devido à aleatoriedade dos dados e ocorrência de árvores isoladas ou aglomeradas. Neste caso, os mapas seriam gerados por interpoladores baseados em densidade de ocorrências, a exemplo de mapas de densidade de Kernel (LONGLEY et al., 2013). A segunda situação seria a detecção de dependência espacial pelo ajuste de semivariogramas teóricos (modelos espaciais) aos dados experimentais, tais como a localização espacial das árvores ou de seus atributos (área basal, volume, biomassa, dentre outros) vinculadas às coordenadas de uma unidade amostral, com posterior interpolação por krigagem ordinária pontual, caracterizando análise geoestatística (YAMAMOTO e LANDIM, 2013; AMARAL et al., 2013).

Ao supor a ocorrência da primeira situação, no método de Kernel, segundo Longley et al. (2013), cada uma das observações (árvore) é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo, referindo-se a cada ponto amostrado, no qual se aplica uma “função Kernel”, sendo que o conjunto dessas funções será reunido para se obter a superfície interpolada. Neste processo cada ponto da mesma, é substituído pela sua função Kernel, desta forma várias funções Kernel são reunidas para se obter uma superfície agregada, ou seja, agregam-se os pontos amostrais e gera-se um campo contínuo através de suas densidades. A análise de densidade é comumente utilizada como método de criação de um campo contínuo a partir de objetos discretos (LONGLEY, 2013). A superfície resultante evidencia a concentração dos dados. Mayer et al. (2015) utilizaram o interpolador Kernel para explicar os possíveis conflitos da arborização urbana, através da análise espacial, com raio de busca previamente definido em SIG.

Contudo, dentro da análise espacial têm-se várias técnicas estatísticas para diferentes tipos de resultados, como exemplo, o processo pontual marcado e o processo pontual marcado categórico com duas marcas, definido por Olinda (2010), como um modelo de ocorrência identificado como pontos localizados no espaço, ou seja, considera-se uma variável aleatória como marca e associa-se ela a pontos, tendo como objetivo principal, verificar se existe independência entre as marcas e pontos. Como exemplo de utilização no setor florestal, pode-se citar o trabalho realizado por Sebem (2017), onde utilizou-se do Processo Pontual Marcado Bivariado para analisar a distribuição espacial de famílias botânicas mais ocorrentes em uma área de Floresta Ombrófila Mista (FOM) demonstrando suas associações, repulsões ou independência espacial.

Os objetivos deste trabalho são, a partir da adoção de um SIG aliado ao levantamento fitossociológico feito anteriormente na área do estudo, demonstrar através de mapas gerados a distribuição e dependência espacial de espécies nativas encontradas, caso exista, na Savana-Estépica Parque, mais especificamente numa unidade amostral instalada no PESP. Tendo como objetivos específicos, a construção de um banco de dados geográficos a partir dos dados providos do campo; demonstrar através da interpolação de dados geográficos a distribuição espacial das espécies estudadas; verificar através da geoestatística e do processo pontual marcado e categórico com duas marcas se há estrutura de dependência espacial e entender o padrão espacial das espécies nativas presentes bem como realizar estatística descritiva.

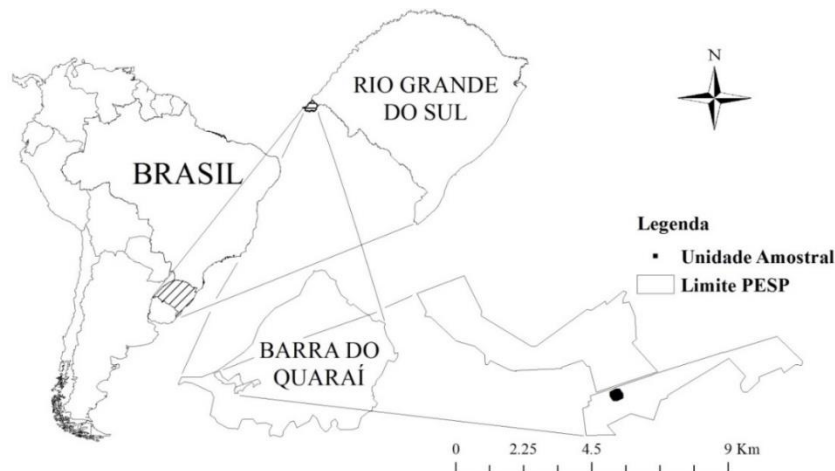
MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Unidade de Conservação Parque Estadual do Espinilho (PESP), localizado no município brasileiro de Barra do Quaraí, região da Campanha, localizada no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul, com a instalação de uma unidade amostral permanente

(Figura 1) e levantamento fitossociológico realizado por Watzlawick et al. (2014). A unidade de conservação possui área decretada de 1.617,14 ha e foi criada através do Decreto N° 23.798, de 12 de março de 1975, que cria Parques Estaduais e Reservas Biológicas e dá outras providências, conforme Plano de Manejo (SEMA, 2009) do PESP.

Figura 1 - Localização da unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 1 - Location of the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



A vegetação do PESP é do tipo Savana-Estépica Parque associada ao xerofitismo, pertencente ao Bioma Pampa, contendo uma matriz gramíneo-arbustiva e de forma dispersa as espécies *Prosopis affinis*, *Prosopis nigra*, *Vachellia caven* (atualmente *Acacia caven* Molina Molina), *Parkinsonia aculeata* L. e *Aspidosperma quebracho-blanco* (MARCHIORI e LONGHI et al., 1985; LEITE, 2002; WATZLAWICK et al., 2010; REDIN et al., 2011; IBGE, 2012; WATZLAWICK et al., 2014). Destaca-se que nenhum destes trabalhos realizou algum tipo de análise espacial para esta vegetação. O clima da região é do tipo Cfa conforme classificação de Köppen, com médias anuais de temperatura de 23,5° C, tendo a temperatura do mês mais quente em torno de 22° C e a do mês mais frio em média 3° C, com formação de geadas frequentes. O solo do PESP está classificado como Chernossolo, moderadamente drenado, de coloração bruno-escuro a bruno-acinzentado muito escuro, proveniente de diferentes tipos de rochas e sob vegetação de Savana e Estepe (WATZLAWICK et al., 2014; REDIN et al., 2017).

A coleta de dados na área do estudo foi obtida por uma pesquisa realizada no local em 2009 e publicada por Watzlawick et al. (2014), a qual consistiu em um levantamento florístico e análise fitossociológica a partir da instalação de uma unidade amostral (UA) permanente, com dimensão de 4 ha (200 x 200 m), subdividida em 400 subunidades de 100 m² (10 x 10 m). Os dados dendrométricos levantados, circunferência e altura foram medidos com fita métrica e o hipsômetro Vertex III respectivamente, de todos os indivíduos arbóreos com circunferência (C) \geq 15,7 cm, a 30 cm do nível do solo, devido a dificuldade de se tomar a medida do diâmetro a altura do peito (DAP), medida padrão adotada na mensuração florestal, devido a presença de espinhos, galhada e possível tortuosidade das espécies estudadas.

A identificação botânica foi realizada inicialmente *in loco*, bem como consultas ao Herbário do Departamento de Ciências Florestais (HDCF) da Universidade Federal de Santa Maria, RS. A elaboração da lista da composição florística foi organizada de acordo com o Sistema do APG, *Angiosperm Phylogeny Group III* (APG-III, 2009) (WATZLAWICK et al., 2014). Foram encontradas nesta UA três espécies arbóreo-arbustivas: *Acacia caven* (Molina) Molina; *Prosopis affinis* Spreng. e *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. Essas espécies são predominantes na vegetação local do Parque Estadual do Espinilho, assim como foram levantadas as presenças de indivíduos arbóreos mortos sem identificação de espécie, sendo realizada análise espacial para os mesmo quando possível.

A posição de cada árvore nas subunidades foi registrada por Watzlawick et al. (2014) em um croqui que acompanhava as fichas de campo impressas (dados analógicos), no qual foram localizadas as árvores em um plano cartesiano x e y em metros. Com um receptor GPS foram obtidas as

coordenadas de origem da UA e dos demais cantos, no formato UTM referenciadas ao sistema de referência espacial WGS84, sendo anotadas nas planilhas de campo. O presente trabalho obteve destes croquis as distâncias das árvores, nos eixos x e y em relação à origem de sua respectiva subunidade, para posterior cálculo de suas coordenadas em planilha eletrônica no programa Excel[®]. A partir destas coordenadas, as subunidades foram recriadas em ambiente CAD, com *software GstarCAD*[®] 2017 (versão demonstrativa). Estes limites foram inseridos no SIG *Arc Map*[®] versão 10.1, transformados em *shapefile* de feição poligonal, para obter as coordenadas dos cantos de cada subunidade, bem como os centroides das mesmas. Na planilha eletrônica foram tabulados os dados de campo, bem como as coordenadas obtidas dos cantos das subunidades, que associadas às medidas de distância em x e y possibilitaram obter as coordenadas de cada árvore. Já as coordenadas dos centroides das subunidades foram utilizadas para amarrar dados de contagens de árvores e soma de área basal por subunidade, utilizados para realizar a análise geoestatística e estatística descritiva dos dados.

Primeiramente foi realizada a estatística descritiva através no MSExcel através da ferramenta “Análise de Dados”. Após esse procedimento foi realizada a análise geoestatística, com ajuste de semivariograma para verificar a existência de estrutura e dependência espacial. Havendo ajuste adequado, foram realizadas a validação cruzada e interpolação de dados por krigagem ordinária pontual conforme Amaral et al. (2013). O *software* utilizado foi o GS+[®], que informa o modelo espacial ajustado aos dados experimentais e indica os parâmetros obtidos no ajuste como efeito pepita, alcance, patamar, grau de dependência espacial, coeficiente de determinação e soma dos quadrados dos resíduos. O cálculo da semivariância e da krigagem ordinária pontual são dados por (YAMAMOTO e LANDIM, 2013):

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2; \hat{Z}_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(x_i)}$$

Onde: $\gamma_{(h)}$ = é a semivariância estimada; $N_{(h)}$ = é o número de pares de valores medidos $[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$ separados por um vetor h ; $\hat{Z}_{(x_0)}$ = é o valor estimado por krigagem ordinária pontual em um local não amostrado; $Z_{(x_i)}$ = é o valor de uma dada variável obtido por amostragem na vegetação; λ_i = é o peso associado ao valor obtido na posição x_i ; n = número de vizinhos.

Quando não houve ajuste geoestatístico adequado, foi utilizado o método de Kernel no SIG Arc Map 10.1, utilizando agora a localização de cada árvore para compor o conjunto de dados. O estimador Kernel utiliza um raio de busca circular em cada célula estimada, somando os pontos encontrados e dividindo-os pela área do raio de busca e atribui diferentes pesos aos pontos encontrados no raio de busca, tornando os valores próximos ao centro mais relevante no cálculo que os valores da borda (MCCOY et al, 2001, p. 133). O procedimento necessita da atribuição de um raio de busca coerente, que retrate a natureza dos dados. Esta interpolação foi gerada com tamanho de célula igual a 0,1 metros, sendo utilizado raio de busca de 6 metros, tendo como critério que as manchas de densidade não extrapolassem excessivamente a área ocupada pelos aglomerados de árvores, para gerar superfícies que descrevam a variabilidade espacial das espécies encontradas na UA do PESP.

Uma grande variedade de funções kernel podem ser utilizadas em estimativas por densidade, sendo a função gaussiana (curva em forma de sino) a mais comum, na qual ajustando a largura do sino (distância ou tamanho do kernel) se produz uma gama de superfícies de densidade com diferentes graus de suavização, sendo a função genérica e o estimador kernel dados por (CAO et al., 1994; LONGLEY et al., 2013):

$$P = \int_A p dA; \hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_h(x - x_i)$$

Onde: P = é a população total presente na área dada pela integral da função campo sobre a área de análise; p = ponto da população que compõem a densidade populacional representada por um campo contínuo $p = (x, y)$; A = área de análise; $\hat{f}_h(x)$ = valor estimado por funções de densidade kernel; k = kernel dimensionado por h , sendo uma função simétrica, não necessariamente positiva

cuja integral vale 1; h = distância, raio de busca ou tamanho do kernel em metros ($h > 0$); $x - x_i$ = pontos na população; n = número de ponto contidos na área definida pelo raio de busca.

Ainda com as coordenadas de cada árvore foi realizado no *software RStudio*, a análise pelo processo pontual marcado e categórico com duas marcas. Para ambos os casos, foram utilizados dados totais e dados de cada espécie, que agora configuram dados espaciais digitais, aptos à análise espacial em SIG.

Os dados pontuais de localização das árvores foram também analisados pela metodologia do processo pontual. Foi elaborado um *script* para ser utilizado no *software RStudio* (*software* livre de ambiente de desenvolvimento integrado para R), com a utilização da biblioteca *spatstat*. Os dados foram analisados pelo processo pontual marcado e processo pontual marcado categórico com duas marcas, para as espécies encontradas e indivíduos mortos, com a função K de Ripley, dado por (ANJOS et al., 2004)

$$K(x) = \lambda^{-1} \cdot N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N K_{ij}$$

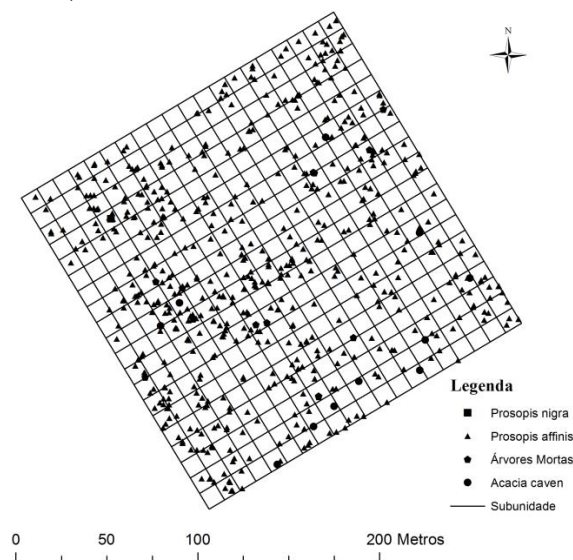
Onde: λ = intensidade ou a média de eventos por unidade de área; x = raio centrado em cada evento com incremento até a distância máxima; N = número de pontos em uma área de raio “ x ”; i = evento no qual é centrado o raio “ x ”; j = evento que ocorre dentro do círculo de raio “ x ” centrado em i ; $K_{ij} = 1$; quando a distância entre i e $j \leq x$; $K_{ij} \neq 0$; quando a distância entre i e $j > x$ ”

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível gerar um banco de dados geográficos a partir das fichas de anotações de dados a campo, transformada em *shapefile* de pontos ou planilha eletrônica, para ser utilizado nas análises espaciais realizadas no SIG e nos demais *softwares*, bem como a análise estatística e geoestatística. A figura 2 apresenta os planos de informação sobrepostos, contendo o limite da unidade amostral, os limites das subunidades e os pontos de localização das árvores agrupadas por espécie. Foram observados na unidade amostral 578 indivíduos florestais, sendo da espécie *Prosopis affinis* (552 – 95,50%), *Acacia caven* (12 – 2,08%); *Prosopis nigra* (1 – 0,17%) e mortos (13 – 2,25%).

Figura 2 - Distribuição espacial das árvores observadas na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 2 - Spatial distribution of trees observed in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



Os dados número de árvores, área basal, número de espécies, espécie *P. affinis*, *A. caven* e indivíduos mortos foram submetidos à análise de estatística descritiva, como pode ser observado na Tabela 1. A espécie *P. nigra* não foi analisada devido ao baixo número de indivíduos (1), número esse, muito baixo para qualquer tipo de análise estatística em uma amostragem florestal.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados da vegetação arbórea da unidade amostral instalada no Parque do Estadual do Espinilho, organizados por subunidades amostrais.

Table 1. Descriptive statistics of tree vegetation data from the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, organized by sampling subunits.

Var	NA	G (m²)	NE	<i>P. affinis</i>	<i>A. caven</i>	Morta
M	1,45	5,88	0,73	1,38	0,03	0,03
EP	0,07	0,30	0,03	0,07	0,01	0,01
Me	1	4,72	1	1	0	0
Mo	0	0	1	0	0	0
DP	1,41	5,95	0,51	1,39	0,19	0,22
S²	1,99	3545,20	0,26	1,94	0,03	0,05
Cur	1,49	0	-0,49	1,67	49,04	56,94
As	1,14	0,01	-0,31	1,17	6,68	7,31
Mín	0	0	0	0	0	0
Máx	8	26,70	2	8	2	2
Σ	578	2334,34	3	552	12	13
CV%	4,89	0,05	3,50	5,05	30,82	33,20

Legenda: Var = Variável; NA = Número Total de Árvores; G = Área Basal unidade(cm²); NE = Número de Espécies; M = Média; EP = Erro Padrão da média; Me = Mediana; Mo = Moda; DP = Desvio Padrão; S² = Variância da Amostra; Cur = Curtose; As = Assimetria; Mín = Mínimo; Máx = Máximo; Σ = Soma; CV = Coeficiente de variação.

Ao analisar a tabela da estatística descritiva acima, pode-se verificar que o número médio de árvores encontradas por subunidade amostral foi de 1,45 já o número de espécies por subunidade foi inferior a 0,8 o que demonstra a predominância da espécie *P. affinis*, com cerca de 95% dos indivíduos amostrados. Observou-se também, que a espécie *A. caven* juntamente com os indivíduos mortos apresentaram um coeficiente de variação maior que 30% isso demonstra o número baixo de indivíduos amostrados para as duas grandezas. Em relação a assimetria e curtose, medidas do formato do padrão da distribuição dos dados ao longo do intervalo, observa-se valores negativos relacionados ao número de espécies, comportamento esse que pode ser explicado, devido o fato de haver apenas três espécies diferentes no levantamento, ou seja, uma pequena variação no número de espécies por subunidades.

No presente trabalho observou-se uma grande quantidade de indivíduos de *P. affinis*, que juntamente com *P. nigra* seriam predominante no PESP. Mas para esta última, foi observado apenas um indivíduo na unidade. Redin et al. (2011) e Redin et al. (2017) relataram problemas na regeneração de espécies *P. affinis* e *P. nigra*, devido às ações antrópicas como corte de árvores no passado e realização de pastoreio, no qual houve ainda em certas épocas o uso de fogo para o “manejo das pastagens”. Giménez et al. (2003) relataram a invasão de espécies arbustivas espinhosas do gênero *Vachellia* (atualmente gênero *Acacia*), *Celtis* e *Mimosa* às áreas de ocorrência mais densa do gênero *Prosopis*, que formaria a princípio uma vegetação arbórea mais densa, típica da Savana-Estépica Parque. Realmente a segunda espécie mais encontrada na unidade foi *A. caven*, porém em um número muito inferior ao de *P. affinis*.

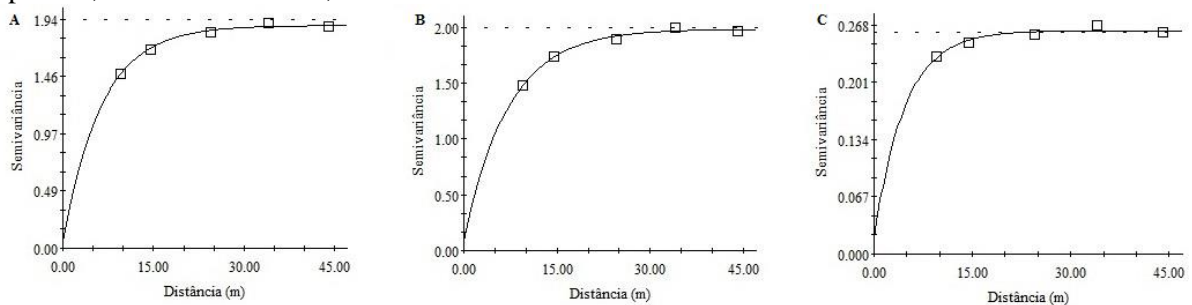
Essas situações são eventos que podem ter gerado, em algum momento, a quebra da continuidade espacial de atributos da vegetação, pela geração de grandes espaços separando as árvores ou seus aglomerados. Amaral (2010) e Amaral et al. (2013) consideraram essa condição para quebra de dependência espacial em Floresta Ombrófila Mista. No entanto, no PESP esta não deve ser a condição essencial para haver baixa ou nenhuma dependência espacial na vegetação arbórea, o que

deve estar associado às características intrínsecas deste ambiente, tais como condições de solo, clima, dentre outros.

A análise geoestatística permitiu ajustar semivariogramas, com verificação da qualidade dos ajustes pela validação cruzada e interpolação de dados por krigagem ordinária pontual, para as variáveis número de indivíduos de *P. affinis*, número total de árvores e número total de espécies por subunidade. Os gráficos dos semivariogramas podem ser observados conforme Figura 3.

Figura 3 – Ajuste de semivariogramas na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 3 - Adjustment of semivariograms in the sample unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



Legenda: A= semivariograma de *P. affinis*; B= semivariograma do número de árvores; C= semivariograma do número de espécies.

Pode-se observar que os dados analisados apresentaram nos semivariogramas nuvens de pareamentos entre observações, para obter valores de semivariância em função da distância de separação ou passos (*lags*), com baixo número de pareamentos, sendo dada a maior parte dos mesmos na região do patamar, campo referente a distância dentro da qual os dados são aleatórios, e apenas dois ou três pareamentos na região ascendente do modelo, contida dentro do alcance, campo referente a distância dentro da qual os dados seriam espacialmente estruturados, ou seja, com dependência espacial e que dariam real suporte a forte dependência observada, o que para Amaral (2010) não é uma boa condição dada pelo ajuste do semivariograma. Os modelos observados foram o Exponencial para as variáveis apresentadas. No entanto, os semivariogramas sugerem que os dados tendem ao comportamento aleatório, que seria descrito por um modelo linear sem patamar (efeito pepita puro), comportamento mais evidente na variável número de espécies. Um ajuste com este modelo foi realizado para confirmar essa suposição. Os parâmetros resultantes do procedimento geoestatístico do ajuste dos semivariogramas e dos parâmetros da validação cruzada, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do ajuste de Semivariogramas e das Validações Cruzadas realizadas para os atributos de vegetação na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Table 2 - Parameters of Semivariograms adjustment and Cross-validations performed for vegetation attributes in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.

Ajuste dos Semivariogramas								
Variável	Modelo	Co	Co+C	A	R ²	SQR	C/(C+Co)	DE
<i>P. affinis</i>	Exponencial	0,055	1,889	19,29	0,99	1,42E-03	0,971	Forte
NA	Exponencial	0,081	1,981	21,51	0,99	2,07E-03	0,959	Forte
NE	Linear	0,249	0,75	1003	0,55	0,0651	0,668	Moderada
Parâmetros da Validação Cruzada								
Variável	CR	EP _{CR}	R ²	Y	EP _{est}			
<i>P. affinis</i>	0,779	0,135	0,077	0,3	1,338			

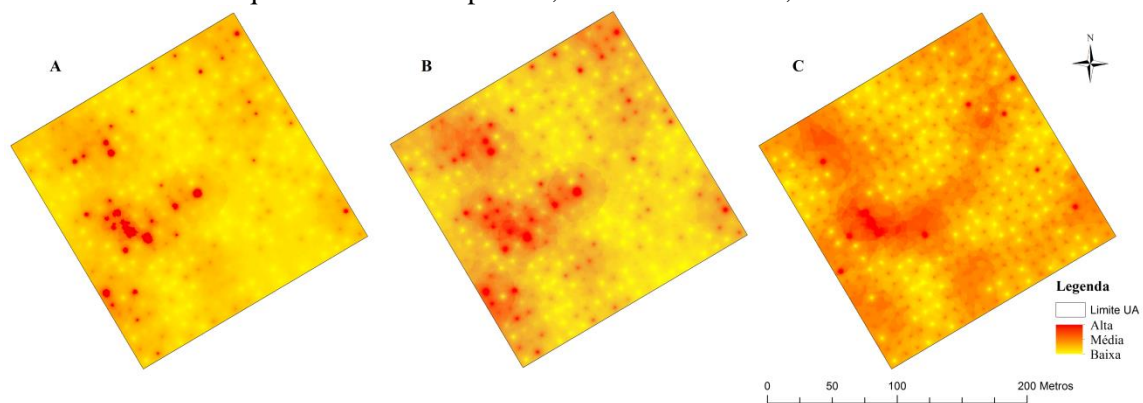
NA	0,82	0,134	0,086	0,26	1,351
NE	0,412	0,179	0,013	0,43	0,505

Legenda: NA= número total de árvores; NE= número de espécies G= área basal; Co= efeito pepita; (Co+C)= patamar; A= alcance; R²= coeficiente de determinação; SQR= soma dos quadrados dos resíduos; C/(C+Co)= dependência espacial; DE= classe de dependência espacial; CR= coeficiente de regressão; EP_{CR}= erro padrão do coeficiente de regressão; Y= intercepto; EP_{est}= erro padrão da estimativa.

Mesmo assim foram geradas as interpolações por krigagem ordinária pontual, a partir dos ajustes dos semivariogramas com o modelo exponencial para as variáveis em questão, sendo seu resultado (superfície interpolada contida numa nova imagem georreferenciada) importado para o ArcGIS® para a visualizada da variabilidade espacial das mesmas (Figura 4). Observou-se que foram geradas regiões dentro da unidade (manchas) de maior ocorrência de indivíduos, espécies ou *P. affinis*. Porém, nota-se também a formação de pequenas manchas que toma forma de pontos, sendo referentes aos centróides das subunidades. Considerando-se todos estes comportamentos, julgou-se a geoestatística como um método não adequado para representar a variabilidade espacial das árvores na unidade amostral analisada no PESP, devido ao fato delas ocorrerem de forma isolada ou em pequenos aglomerados conforme descrito por Simas et al. (2002).

Figura 4 - Variabilidade espacial da vegetação arbórea obtida por krigagem ordinária pontual na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 4 - Spatial variability of tree vegetation obtained by ordinary punctual kriging in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.

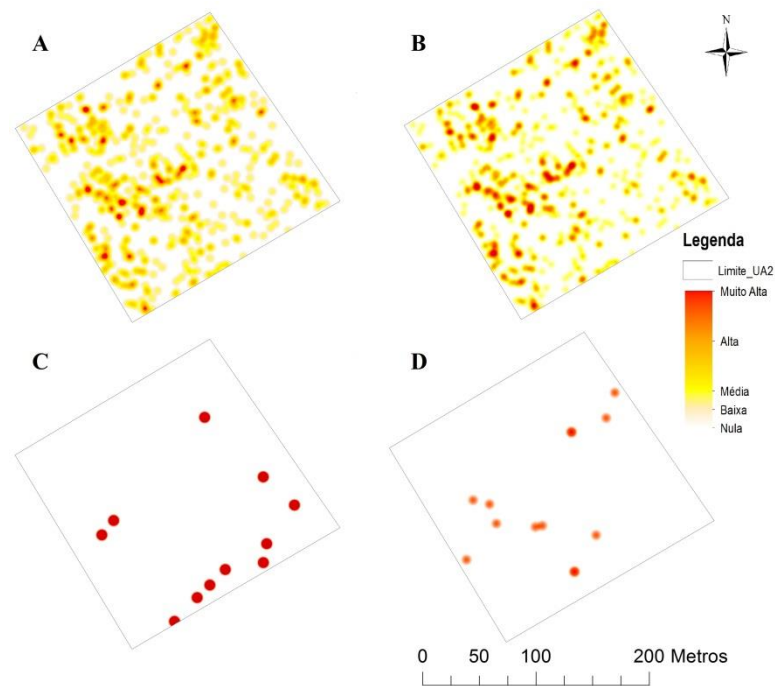


Legenda: A= Número de árvores; B= *Prosopis affinis*; C= Número de espécies.

Foi considerado mais adequado como método de análise espacial para a vegetação em análise no PESP o uso dos mapas de densidade ou funções de Kernel (LONGLEY et al., 2013). As superfícies interpoladas obtidas foram geradas com tamanho de célula de 0,1 metro, tendo raio de busca de seis metros. Esse tamanho de raio define o tamanho da função utilizado no método, e é compatível com o tamanho dos aglomerados formados pelas árvores, o que pode até ser visualmente verificado na figura 2, comparando o tamanho dos aglomerados com os eixos das subparcelas que possuem 10 metros, dando um sentido lógico para definição do tamanho da função kernel como pede o método. Foram testados também diferentes tamanhos de raio até se chegar na definição de seis metros. Os resultados encontrados a partir da geração do mapa interpolado por Kernel podem ser observados na Figura 5, a qual demonstra a distribuição espacial de todos os indivíduos presentes, das duas espécies mais ocorrentes na unidade amostral e dos indivíduos mortos. Os dados da espécie *P. nigra* não foram interpolados devido a presença de apenas um indivíduo na unidade avaliada.

Figura 5 - Interpolações por funções de densidade de Kernel para a vegetação arbórea observada na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 5 - Interpolations by Kernel density functions for the tree vegetation observed in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



Legenda: A= Total de Indivíduos; B= *Prosopis affinis*; C= *Acacia caven*; D= Indivíduos Mortos.

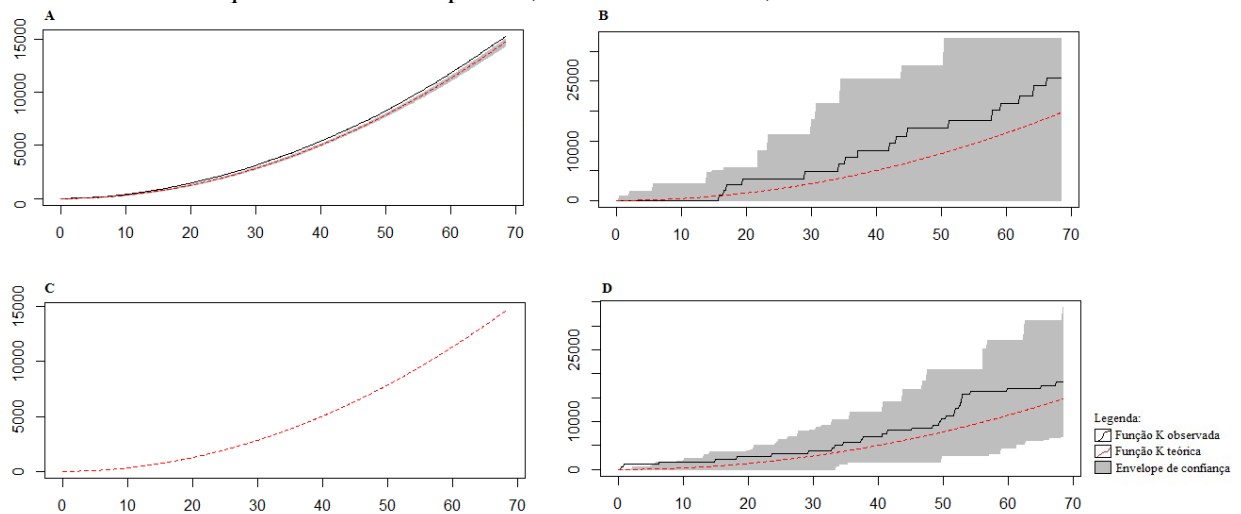
Ao analisar os mapas de interpolação por Kernel, aparentemente, os indivíduos presentes ocorrem de forma aleatória na unidade amostral, as espécies tendem a não apresentar dependência espacial ou apresentar fraca dependência espacial, mostrada também pela geoestatística, e ocupam a área da unidade de forma esparsa, possivelmente devido a busca por água e luminosidade, fatores que condicionam a ocorrência da mesma. As espécies *P. affinis* e *A. caven* foram as espécies mais abundantes e aparentemente ocorrem em zonas diferentes dentro da unidade amostral. A primeira possui maior concentração de indivíduos na porção oeste da unidade e a segunda na porção leste.

Watzlawick et al. (2010) descreveram situação de estagnação no crescimento das árvores na vegetação do Espinilho, num período de análise de oito anos, entre 2001 e 2009. Este comportamento associado aos problemas de regeneração do gênero *Prosopis* e invasão de espécies arbustivas podem ter impactado mais severamente a estrutura de dependência espacial ao longo do tempo. Por outro lado, Redin et al. (2017) observaram maiores valores de umidade gravimétrica no solo, biomassa aérea e abundância de *P. affinis* em área protegida, no caso do próprio Parque Estadual do Espinilho. Isto indica que existem fatores não considerados neste trabalho que atuam na variabilidade espacial das espécies e dos indivíduos arbóreos avaliados. Fatores como degradação devido ao fogo e atividades humanas, variações no solo, tais como profundidade de enraizamento efetivo, encharcamento e fertilidade podem influenciar no grau em que ocorrem variações na densidade de plantas lenhosas em savanas (RIZZINI, 1963; COUTINHO, 1990; EITEN, 1993; BOND et al., 2005). No entanto, alguns estudos apontam a fertilidade do solo como um importante determinante de lenhosidade da savana brasileira em escala de paisagem (RIBEIRO e TABARELLI, 2002; MIRANDA et al., 2003), o que associado aos demais fatores poderia explicar as variações na vegetação no Espinilho.

Ao considerar a influência destes fatores na ocorrência de árvores no PESP, foi realizada a análise de comportamento espacial das espécies observadas na unidade amostral com uso do processo pontual marcado, baseado na função K de Ripley. Foram elaborados gráficos a respeito desse comportamento, demonstrando a forma como as espécies ocorrem na área de estudo, bem como os indivíduos mortos (Figura 6).

Figura 6 - Processo Pontual Marcado para as espécies e indivíduos mortos ocorrentes na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 6 - Punctual Process Marked for dead species and individuals occurring in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



Legenda: A= *Prosopis affinis*; B= *Acacia caven*; C= *Prosopis nigra*; D= Indivíduos mortos

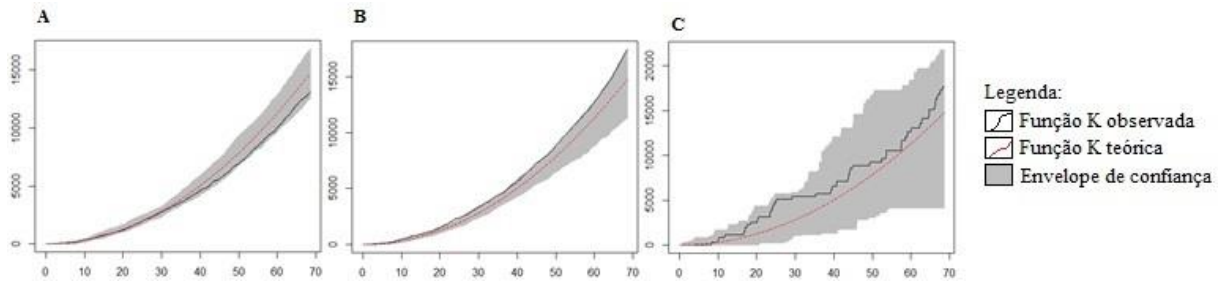
Observa-se que para *P. affinis* a curva da função K observada está fora do envelope de confiança e acima do mesmo, o que indica a ocorrência espacial de forma agregada de seus indivíduos ao longo de toda a distância de análise. Esta espécie apresentou o maior número de árvores na unidade, gerando um envelope de confiança estreito e seguro no método utilizado. Resultados similares foram também encontrados por Sebem (2017), ao estudar o comportamento de famílias botânicas na Floresta Ombrófila Mista com o mesmo método. O autor observou o resultado de agregação para as famílias *Aquifoliaceae*, *Euphorbiaceae*, *Lauraceae*, *Myrtaceae* e *Sapindaceae*. Por outro lado, Redin et al. (2011) concluem em seu trabalho que a espécie *P. affinis* apresentou padrão aleatório de ocorrência, resultado baseado na fitossociologia tradicional, que não considera a localização espacial dos indivíduos e sim densidade, frequência e dominância dos mesmos na unidades amostrais em que ocorrem. Os autores associam este padrão aleatório à problemas de regeneração em função do pastoreio do gado.

Já para *A. caven*, foi observada completa aleatoriedade espacial entre os indivíduos presentes no levantamento, devido ao fato de sua função K estar contida dentro do envelope de confiança gerado, que devido ao baixo número de indivíduos apresentou maior amplitude para dar maior segurança ao envelope. Como *P. nigra* apresentou apenas um indivíduo, o método não retornou resposta para esta espécie. Sebem (2017) obteve resultado similar para as famílias *Araucariaceae* e *Flacourtiaceae*. Para os indivíduos mortos, houve a formação de aglomerado em pequenas distâncias (função K observada acima do envelope), até quatro a cinco metros, apresentando além destas distâncias completa aleatoriedade espacial (função K observada dentro do envelope).

Para verificar a forma de associação das espécies (atração ou repulsão) foi utilizado o processo pontual marcado categórico com duas marcas, com o qual se observou a interação entre as duas espécies mais encontradas (*P. affinis* e *A. caven*), espécie mais encontrada com indivíduos mortos (*P. affinis* e indivíduos mortos) e segunda espécie mais encontrada com indivíduos mortos (*A. caven* e indivíduos mortos) (Figura 7).

Figura 7 - Processo pontual marcado categórico com duas marcas para as espécies e indivíduos mortos ocorrentes na unidade amostral instalada no Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 7 – Two point marks categorical process for the species and dead individuals occurring in the sampling unit installed in the Parque Estadual do Espinilho, Rio Grande do Sul, Brazil.



Legenda: A= *Prosopis affinis* x *Acacia caven*; B= *Prosopis affinis* x Indivíduos mortos; C= *Acacia caven* x Indivíduos mortos.

Em todas as análises a função K observada não extrapolou o envelope de confiança, ou seja, as espécies possuem independência espacial em todas as distâncias de análise. No entanto, a análise de *P. affinis* sugere que a mesma tende a se associar com indivíduos mortos, pois a função K observada foi até o limite superior do envelope de confiança em todas as distâncias de análise, provavelmente devido ao seu maior número de indivíduos na unidade. A espécie também tende a repelir *A. caven*, pelo fato da função K aproximar-se do limite inferior do envelope de confiança, sendo mais evidente no intervalo de distância dos 35 aos 65 metros. De certa forma, este comportamento corrobora o relato de Giménez et al. (2003), que descrevem a invasão de arbustos de espécies do gênero *Acacia*, *Celtis* e *Mimosa* às áreas de ocorrência mais densa do gênero *Prosopis*. Sebem (2017) observou associação entre o comportamento aleatório da família *Araucariaceae* com as famílias *Aquifoliaceae*, *Lauraceae* e *Myrtaceae*, com este mesmo método. Já para as famílias *Euphorbiaceae*, *Flacourtiaceae* e *Sapindaceae* não observou a formação de grupos associados e tampouco repulsão das mesmas pela família *Araucariaceae*.

Os métodos de análise espacial utilizados neste trabalho valorizam a descrição de Simas et al. (2002) sobre a forma das árvores e sua ocorrência no Espinilho, o que permitiu formular, testar e validar o comportamento e a associação espacial das espécies arbóreas na área de estudo. No entanto, cabe ressaltar a necessidade de realizar o estudo em outras fisionomias, pois *P. affinis* pode apresentar outros resultados, de maneira similar ao observado por Anjos et al. (2004), que com o uso de processos pontuais verificaram alta variação no padrão de distribuição espacial das árvores de *Araucaria angustifolia*, em diferentes tipologias de vegetação avaliadas no estado do Paraná.

CONCLUSÕES

Com os dados e metodologia utilizada foi possível gerar um banco de dados geográficos ou espacial para a vegetação arbórea da unidade amostral do PESP avaliada, realizar análises espaciais com três diferentes métodos, geoestatística, funções de densidade de Kernel, bem como processo pontual (marcado e marcado categórico com duas marcas).

A geoestatística e o processo pontual marcado sugerem não haver dependência espacial ou estrutura na vegetação arbórea ou em seus atributos na vegetação analisada, ou quando presente, ocorrer em pequenas distâncias. Esta vegetação arbórea foi composta majoritariamente por indivíduos da espécie *P. affinis* (552 – 95,50%). Os métodos considerados mais adequados para tratar do comportamento espacial desta e dos demais componentes da vegetação foram funções de densidade de Kernel e os processos pontuais.

P. affinis apresentou comportamento espacial agrupado, e tendeu a associar-se aos indivíduos mortos e a repelir *A. caven*. A representação das espécies ocorrentes na unidade e dos indivíduos mortos foi obtido pelas funções de Kernel, ao mostrar claramente as manchas de intensidade das ocorrências pontuais e dos pequenos aglomerados de árvores formados na unidade avaliada, bem como as áreas onde não ocorreram nenhuma espécie arbórea. Desta forma a hipótese formulada neste estudo foi aceita e os objetivos da pesquisa foram alcançados.

Mais pesquisas referentes ao comportamento espacial da vegetação do Parque Estadual do Espinilho devem ser realizadas, visando estudar outras fisionomias ou outros estratos da vegetação, bem como tentar explicar a influências dos fatores fogo, atividades humanas, fertilidade e demais condições de solos no comportamento e estrutura espacial desta vegetação única no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. P. **Geoestatística Aplicada ao Manejo Florestal Experimental em Floresta Ombrófila Mista**. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- AMARAL, L. P. **Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 133p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.
- AMARAL, L. P. et al. Influência da Floresta Alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela geoestatística. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 491-501, 2013.
- ANJOS, A. et al. Análise do padrão de distribuição espacial da Araucaria (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.66, dez. p.38-45. 2004.
- APG - III. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Boutanical Journal of the Linean Society**, v. 161, p.105-121, 2009.
- BOND, W. J., F. I. **The global distribution of ecosystems in a world without fire**. In: MIDGLEY, G. F. (Ed.). *New Phytol*, 2005.
- CAO, R.; CUEVAS, A.; MANTEIGA, W. G. **A comparative study of several smoothing methods in density estimation**. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 17, p. 153-176, 1994.
- COUTINHO, L. M., *Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado*. In: *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. Ed. J. G. Goldammer, **Ecological Studies**. Berlin: **Springer Verlag**. 1990, p.82-105.
- EITEN, G. **Vegetação do Cerrado**. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Editora Universidade de Brasília. 1993 p. 17-25.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos. 1ª ed. 2008. 160 p.
- GIMÉNEZ, A. M.; RIOS, N. A.; MOGLIA, J. G. Crescimento de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron (algarrobo negro) em Santiago de Estero, Argentina. **Foresta Veracruzana**, v. 5, n. 2, p. 17-22, 2003.
- GONÇALVES, J. L. M.; ÁLVARES, C. A. A silvicultura de precisão e as exigências ambientais. **Visão Agrícola**, n. 4, p. 80-82, 2005. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-ciencia-e-tecnologia01.pdf>>. Acesso em 20 nov. 2017.
- IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2ªed. 2012. 271p. ISBN 978-85-240-4272-0
- LEITE, F. P. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v.24, p.51-73, 2002.
- LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.
- MARCHIORI, J. N. C.; LONGHI, S. J. Estrutura fitossociológica de uma associação natural de Parque Inhanduvá com Quebracho e Cina-cina, no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. 7, p. 147-162, 1985.
- MAYER, C. L. D.; FILHO, P. C. O.; BOBROWSKI, R. Análise Espacial de Conflitos da Arborização de Vias Públicas: Caso Irati, Paraná. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 11 - 20, jan. / mar. 2015. ISSN eletrônico 1982-4688
- MCCOY, J. et al. **Using ArcGIS spatial analyst: GIS by ESRI**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2001. 133 p.
- MIRANDA, A. C. et al. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over *campo sujo* savanna in Central Brazil. **Functional Ecology**, 2003.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 4. ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2015. 399p.
- NEVES, D. A. et al. Using geostatistics for assessing biodiversity of forest reserve areas. **Bragantia**, v. 6, Suplemento, p. 131-140, 2010.
- OLINDA, R. A.; SCALON, J. D. **Métodos de Monte Carlo para Análise de Processos Pontuais Marcados**. **Revista Brasileira de Biometria.**, São Paulo, v.28, n.1, 2010 p.39-56.

- R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456 p.
- REDIN, C. G. et al. Composição florística e estrutura da regeneração natural do Parque Estadual do Espinilho, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1195-1201, Julho, 2011.
- REDIN, C. G. et al. Grazing Changes the soil-plant relationship in the tree-regeneration stratum in the pampa of Southern Brazil. **CERNE**. Lavras, v. 23, n. 2, p. 193-200, June 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104. Acesso em: 11 out 2017.
- REITZ, P. R. et al. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1983. 435 p. (Sellowia, n. 34-35).
- RIBEIRO, L. F., TABARELLI, M. A structural gradient in cerrado vegetation in Brazil: Changes in woody plant density, species richness, life history and plant composition. **Journal of Tropical Ecology**, 2002.
- RIZZINI, C. T. **A flora do cerrado. Análise florística das savanas centrais**, no Simpósio Sobre o Cerrado, editado por M. G. Ferri, p. 125-177, Univ. de São Paulo, São Paulo, 1963.
- SEBEM, E. **Distribuição Espacial de Famílias Botânicas em parcela de Floresta Ombrófila Mista e suas relações com Araucariaceae em São Francisco de Paula, RS**. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa)-Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017. 89p.
- SEMA, **Plano de Manejo do Parque Estadual do Espinilho**. 2009. 204p.
- SIMAS, V. R. et al. Vegetação arbórea fanerógama ocorrente em área de nidificação de *Atta vollenweideri* (Forel, 1983) (Hymenoptera: Formicidae). **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 9, p. 79-88, 2002.
- SOARES, A. **Geostatística para Ciências da Terra e do Ambiente**. 2. ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.
- TÁLAMO, A. et al. Vegetação leñosa de um caminho abandonado Del Chaco semiárido em relación a la matriz de vegetación circundante y el pastoreo. **Revista Ecología Austral**, v. 1, n. 19, p. 157-165, 2009.
- WATZLAWICK, L. F. et al. Aspectos da Vegetação Arbórea em Fragmento de Estepe Estacional Savanícola, Barra do Quaraí-RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n. 1, p. 23-36, jan.-mar., 2014. ISSN 0103-9954
- WATZLAWICK, L. F. et al. Caracterização e dinâmica da vegetação de uma savana estépica parque, Barra do Quaraí, RS. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 363-368, 2010.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geostatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

3 CONCLUSÃO

Após a realização da presente dissertação, foi possível concluir que os levantamentos fitossociológicos juntamente com a utilização da geotecnologia e SIG, formam uma ferramenta de alta funcionalidade, melhora a visibilidade dos produtos obtidos e gera uma maior confiabilidade dos resultados, devido a geração de um banco de dados espacial.

Através dos resultados obtidos foi possível observar que a espécie *Prosopis affinis* Spreng., forma agregação de seus indivíduos e que as demais espécies *Acacia caven* (Molina) Molina; e *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron apresentam completa aleatoriedade em sua distribuição espacial, bem como os resultados do processo pontual marcado categórico com duas marcas, o qual não encontrou dependência ou associação espacial comparando duas marcas (espécies).

Os objetivos gerais e específicos deste trabalho foram atendidos. Ressalta-se também que a metodologia utilizada atendeu ao esperado, devido aos resultados gerados. Indica-se a mesma para futuras pesquisas do gênero, não só na área do presente estudo como em outras formações vegetais e unidades de conservação.

Enfatizasse também, o fato da importância deste tipo de estudo para avaliação comportamental de espécies florestais nativas, demonstrando através da sua distribuição espacial, e principalmente sua dependência espacial, as interações existentes em um Parque Estadual com vegetação arbórea nativa no estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. P. **Geoestatística Aplicada ao Manejo Florestal Experimental em Floresta Ombrófila Mista**. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. 90p.
- BOSSLE, R. C. **QGIS e geoprocessamento na prática**. Edição do autor. São José dos Pinhais, 2015. 232p.
- BRASIL. Decreto N° 23.798, de 12 de março de 1975. Cria Parques Estaduais e Reservas Biológicas e dá outras providências. **Diário Oficial**, Porto Alegre, RS, 14 de mar. 1975.
- BRASIL. Decreto N° 41.440, de 28 de fevereiro de 2002. Amplia o Parque Estadual do Espinilho e dá outras providências. **Diário Oficial**, Porto Alegre, RS, 28 de fev. 2002.
- CÂMARA, G. et al. Bancos de Dados Geográficos. **MundoGEO**, Curitiba, 2005. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/bdados/>>. Acesso em: 27 jul 2017.
- CARNEIRO, A. M. et al. **CACTOS do Rio Grande do Sul**. Projeto RS Biodiversidade. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. 224 p.
- CHANG, K-T. **Introduction to Geographic Information Systems**. 3ªed. McGraw Hill. 2006. 448p.
- DAVIS, C.; CAMÂRA, G. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica**. Divisão de Processamento de Imagens/Inpe. Editorado pelos próprios autores, 2016. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 27 ago 2017.
- ESRI. **Using ArcGIS Spatial Analyst**. Environmental Systems Research Institute, Redlands, EUA, 2002. 232p.
- FERNANDES, M. C. **Geocologia do maciço da Tijuca- RJ: uma abordagem Geo-Hidroecológica**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998. 141p.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos. 1ª ed. 2008. 160 p.
- GALVANI, F. R; BAPTISTA, L. R. M. Flora do Parque Estadual do Espinilho-Barra do Quaraí, RS. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.10, n.1, p.42-62, 2003.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1: 250.000**. Florianópolis, IBGE/SAA-RS, 2004.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2ªed. 2012. 271p.

IFCRS (**Inventário Florestal contínuo do Rio Grande do Sul**). Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Santa Maria: SEMA/UFSM, 2002. 706p. (Relatório).

IFN (Inventário Florestal Nacional). **Reflorestamento, Rio Grande do Sul**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Departamento de Economia Florestal. 1983. 182p

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p

MARCHIORI, J. N. C. et al. A vegetação do Parque Estadual do Espinilho. 2 – Origem do nome e considerações fitogeográficas. **Balduínia**, Santa Maria, n. 44,p. 01-16, 2014.

MAYER, C. L. D.; FILHO, P. C. O.; BOBROWSKI, R. Análise Espacial de Conflitos da Arborização de Vias Públicas: Caso Irati, Paraná. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 11 - 20, jan. / mar. 2015.

MEIRELLES, M. S. P. et al. **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília, DF, Embrapa, 2007. 593p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>. Acesso em: 03 out 2017.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 4. ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2015. 399p.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3ªed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 312p.

OLINDA, R. A.; SCALON, J. D. Métodos de Monte Carlo para Análise de Processos Pontuais Marcados. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.28, n.1, 2010 p.39-56.

PILLAR, V. D.; QUADROS, F. L. F. Grassland-forest boundaries in southern Brazil. **Coenoses**, Gorizia, Itália. v.12, 1997. p.119-126.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul- Ensaio de monografia natural**. Porto Alegre: Of. Graf. da Imprensa Oficial, 1942. 360 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456p.

REDIN, C. G. et al. Grazing Changes the Soil-Plant Relationship in the Tree-Regeneration Stratum in the Pampa of Southern Brazil. **CERNE**. Lavras , v. 23, n. 2, p. 193-200, Junho 2017 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104>. Acesso em: 11 out 2017.

REDIN, C. G. et al . Composição florística e estrutura da regeneração natural do Parque Estadual do Espinilho, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1195-1201, Julho 2011.

SANQUETTA, C. R. **MBA em Manejo Florestal de Precisão**. Curitiba:UFPR/ PECCA, 2015. 59p. Apostila.

SÁRKÖZY, F. **GIS Functions – Interpolation**. Department of Surveying. Technical University Budapest. Hungary. Published in Periodica Polytechnica Civil Engineering. 1999. Vol. 43, N°1, p. 63–86.

SEBEM, E. **Distribuição Espacial de Famílias Botânicas em parcela de Floresta Ombrófila Mista e suas relações com *Araucariaceae* em São Francisco de Paula, RS**. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa)-Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017. 89p.

SEMA, **Plano de Manejo do Parque Estadual do Espinilho**. 2009. 204p. (Relatório)

SFB, **Serviço Florestal Brasileiro**. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>. Acesso em: 10 nov 2017.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro. Edição do autor. 2001. 228p.

WATZLAWICK, L. F. et al. Aspectos da Vegetação Arbórea em Fragmento de Estepe Estacional Savanícola, Barra do Quaraí-RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n. 1, p. 23-36, jan.-mar., 2014.

WATZLAWICK, L. F. et al. Caracterização e dinâmica da vegetação de uma savana estépica parque, Barra do Quaraí, RS. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 363-368, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/viewArticle/107>>. Acesso em: 11 out 2017.

YU, W.; AI, T. The visualization and analysis of urban facility pois using network kernel density estimation constrained by multi-factors. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Sec. Artigos, Curitiba, v. 20, no 4, p.902-926, out-dez, 2014.

APÊNDICE A – SCRIPT PARA O PROCESSO PONTUAL MARCADO E PROCESSO PONTUAL MARCADO CATEGÓRICO COM DUAS MARCAS UTILIZANDO A FUNÇÃO K DE RIPLEY NO SOFTWARE R.

```

#
# library(spatstat)
dados <- read.table("especies.txt", h=T)
#
names(dados)
summary(dados)
#
plot(dados$E, dados$N)
#
W <- owin(poly = list(x = c(179, 362, 247, 75), y = c(77, 184, 351, 249)))
plot(W)
X <- ppp(dados$E,dados$N, window=W, marks=dados$NOME_CIENTIFICO)
X
#
summary(X)
plot(X)
#
# Separando os dois tipos de resposta da marca para o Mapa:
Especies <- split(X)
Especies
plot(Especies)
#
# Separando os tipos de resposta da marca:
s <- split(X)
s
plot(s)
#
# considerando uma marca por vez:
Prosopis_affinis <- envelope(s$Prosopis_a, Kest)
plot(Prosopis_affinis)
#
Prosopis_nigra <- envelope(s$Prosopis_n, Kest)
plot(Prosopis_nigra)
#
Acacia_caven <- envelope(s$Acacia_c, Kest)
plot(Acacia_caven)
#
Mortas <- envelope(s$Morta, Kest)
plot(Mortas)
#
# considerando a marca (duas a duas):
Prosopis_affinis_X_Acacia_caven <- envelope(X, Kcross, i="Prosopis_a", j="Acacia_c")
plot(Prosopis_affinis_X_Acacia_caven)
#
Prosopis_affinis_X_Mortas <- envelope(X, Kcross, i="Prosopis_a", j="Morta")
plot(Prosopis_affinis_X_Mortas)

```

```
#  
Acacia_caven_X_Mortas <- envelope(X, Kcross, i="Acacia_c", j="Morta")  
plot(Acacia_caven_X_Mortas)  
#
```