



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**ALESSANDRA DANIELE DE SOUSA BRANDÃO**

**ANÁLISE ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* Huber NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

**BELÉM  
2018**

**ALESSANDRA DANIELE DE SOUSA BRANDÃO**

**ANÁLISE ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* Huber NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da  
Amazônia, como parte das exigências do Curso de  
Doutorado em Agronomia: área de concentração  
Agronomia, para obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias  
Co-orientador: Dr. Gustavo Schwartz

**BELÉM**

**2018**

**ALESSANDRA DANIELE DE SOUSA BRANDÃO**

**ANÁLISE ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* Huber NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

Co-orientador: Dr. Gustavo Schwartz

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Paulo Roberto Silva Farias - Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Francisco de Assis Oliveira – 1º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Javier Dias Pita – 2º Examinador  
INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ – IFPA

---

Dra. Rosana Sumiya Gurgel – 3º Examinador  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE

---

Dra. Vanessa Mayara Souza Pamplona – 4º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

## AGRADECIMENTOS

Ao término desse trabalho, que embora de natureza acadêmica seja produzido individualmente, quero expressar a todas as pessoas e instituições que contribuíram de alguma forma para que este sonho se tornasse realidade, os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente agradeço a Deus, por me conceder o dom mais precioso do universo: a vida, obrigada por sempre me proteger e me direcionar pelos caminhos sinuosos que percorri até meu amadurecimento espiritual, pessoal e profissional.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Departamento de Biologia Vegetal, pela oportunidade de aperfeiçoamento e crescimento profissional.

A empresa CIKEL que possibilitou a realização do doutorado. Ao Engenheiro Florestal Josué Evandro Ribeiro Ferreira por acreditar e apoiar o projeto de pesquisa. E aos demais colegas e colaboradores da Fazenda Rio Capim que possibilitaram auxílio na coleta dos dados.

À minha mãe Solange Tavares de Sousa que a cada dia travou uma grande batalha junto comigo e me incentiva a todo o momento com apoio e “mimos” que muitas vezes foram importantíssimos para onde estou chegando hoje.

Ao meu pai, razão da minha crença em cursar uma universidade, pois sempre acreditou na minha capacidade e lutou para que essa se potencializasse, mesmo nos momentos mais difíceis. A ele, o meu direcionador neste sonho concretizado. Serei infinitamente grata pelo seu inesgotável amor, carinho e dedicação.

Especialmente ao meu orientador Professor Dr. Paulo Roberto Silva Farias, pela paciência, confiança, oportunidades oferecidas, valiosos ensinamentos e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Aos amigos que sempre estão de prontidão e que me oferecem inesquecíveis apoios. Especialmente ao meu amigo Luiz Fernandes Silva Dionísio.

Obrigada a todas as pessoas, que de maneira especial tenham compartilhado o desenvolvimento deste trabalho.

**DEDICATÓRIA**

*A Deus, minha força e meu direcionador,  
Aos meus pais Domingos Assunção Brandão  
e Solange Tavares de Sousa pelo exemplo, carinho e  
amor incondicional a todo momento.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Capítulo 1</b>	
<b>Figura 1 -</b>	Localização das áreas de estudo de distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> no município de Paragominas, PA - Brasil... 20
<b>Figura 2 -</b>	Croqui de Unidade de Produção Anual (UPA), Unidades de Trabalho (UT) e linhas utilizadas no inventário florestal realizado a 100% de intensidade nas UPAs 16, 17, 18 e 19 na Fazenda Rio Capim, município de Paragominas, PA-Brasil..... 21
<b>Figura 3 -</b>	Número de indivíduos e volume de madeira de <i>Euxylophora paraensis</i> por classe de diâmetro por hectare em quatro áreas manejadas, no município de Paragominas, PA - Brasil. Barras indicam a densidade de indivíduos (# ind. ha-1) e linhas indicam o volume por unidade de área (m <sup>3</sup> ha-1)..... 24
<b>Figura 4 -</b>	Semivariogramas e mapas de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> em quatro áreas de manejo no município de Paragominas, PA - Brasil..... 28
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Figura 5 -</b>	Localização da área de estudo no estado do Pará..... 38
<b>Figura 6 -</b>	Croqui de Unidade de Produção Anual (UPA), Unidades de Trabalho (UT) e linhas utilizadas no inventário florestal realizado a 100% de intensidade nas UMFS Caculé, Cauaxi, Sumal e Pacajá, PA-Brasil..... 39
<b>Figura 7 -</b>	Mapa de localização da imagem radar mostrando a escala de altitude nas unidades de manejo florestal no estado do Pará-Brasil . 40
<b>Figura 8 -</b>	Semivariogramas e mapas de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> em quatro unidades de manejo florestal no Pará - Brasil..... 46
<b>Figura 9 -</b>	Mapa de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Caculé no estado do Pará - Brasil..... 48
<b>Figura 10 -</b>	Mapa de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Cauaxi no estado do Pará – Brasil..... 48
<b>Figura 11 -</b>	Mapa de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Sumal no estado do Pará - Brasil..... 49
<b>Figura 12 -</b>	Mapa de krigagem da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Pacajá no estado do Pará – Brasil..... 49

## LISTA DE TABELAS

<b>Capítulo 1</b>	
<b>Tabela 1 -</b>	Parâmetros populacionais de <i>Euxylophora paraensis</i> (indivíduos com $DAP \geq 40$ cm) em quatro áreas manejadas, no período de 2013 a 2016 no município de Paragominas, PA - Brasil.....
23	
<b>Tabela 2 -</b>	Parâmetros dos semivariogramas da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> em quatro áreas de manejo, no município de Paragominas, PA - Brasil.....
26	
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Tabela 3 -</b>	Parâmetros populacionais de <i>E. paraenses</i> e altitude média em unidades de manejo florestal, no estado do Pará - Brasil.....
43	
<b>Tabela 4 -</b>	Coeficiente de correlação linear de Pearson (r), entre os valores de altitude e os valores volumes das árvores de <i>Euxylophora paraensis</i> em quatro unidades de manejo florestal no Pará - Brasil.....
44	
<b>Tabela 5 -</b>	Parâmetros dos semivariogramas da distribuição espacial de <i>Euxylophora paraensis</i> em quatro unidades de manejo florestal no Pará – Brasil.....
45	

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 <i>Objetivo geral</i> .....	13
1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	13
REFERÊNCIAS .....	13
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>.....</b>
<b>2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE <i>Euxylophora paraensis</i> (HUBER) EM FLORESTA NATURAL MANEJADA NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Material e Métodos.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 <i>Área de estudo</i> .....	19
2.2.2 <i>Análise geoestatística</i> .....	21
2.2.3 <i>Krigagem</i> .....	22
2.2.4 <i>Índice de dependência espacial</i> .....	22
<b>2.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>23</b>
2.3.1 <i>Parâmetros populacionais</i> .....	23
2.3.2 <i>Análise geoestatística</i> .....	25
<b>2.4 Conclusão.....</b>	<b>30</b>
REFERÊNCIAS .....	31
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>.....</b>
<b>3. INFLUÊNCIA DA ALTITUDE NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE <i>Euxylophora paraensis</i> (HUBER) EM UNIDADES DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Material e Métodos.....</b>	<b>37</b>
3.2.1 <i>Área de estudo</i> .....	37
3.2.2 <i>Inventário florestal e georreferenciamento das espécies</i> .....	38
3.2.3 <i>Determinação das altitudes nas unidades de manejo florestal</i> .....	39
3.2.4 <i>Análise geoestatística</i> .....	40
<b>3.3. Resultados e Discussão.....</b>	<b>42</b>
3.3.1 <i>Parâmetros populacionais</i> .....	42
3.3.2 <i>Análise estatística</i> .....	44
3.3.3 <i>Análise geoestatística</i> .....	44
<b>3.4 Conclusão.....</b>	<b>50</b>
REFERÊNCIAS.....	51
CONCLUSÕES GERAIS.....	55

## ANÁLISE ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* Huber NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Os mecanismos de sustentação das florestas manejadas, ainda não são adequadamente abordados. E sobretudo, se essas espécies não forem manejadas diferentemente das demais correm o risco de serem extintas a médio e longo prazo. E este fato vem ocorrendo com a espécie *Euxylophora paraensis* (Huber), pois com o alto índice de exploração madeireira, essa espécie sofreu redução populacional, sendo potencialmente suscetível aos impactos da exploração, suas árvores de grande porte constam na lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Entretanto, se desconhece a estrutura espacial de suas populações naturais e os efeitos do manejo sobre essa espécie. Diante disso, o objetivo do estudo foi caracterizar e quantificar a distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* a fim de estabelecer estratégias de conservação e preservação na Amazônia Oriental. O estudo foi realizado nas Unidades de Manejo Florestal Fazenda Rio Capim, Cauaxi, Sumal e Caculé de propriedade da Empresa CKBV Florestal Ltda., pertencente ao Grupo CIKEL. A empresa possui seis unidades de manejo florestal no estado do Pará certificados pelo Forest Stewardship Council (FSC) desde 2001. Para avaliar a distribuição espacial de *E. paraensis*, utilizou-se a análise geoestatística a partir da modelagem de semivariograma e confecção de mapas de krigagem. Houve dependência espacial de *E. paraensis* descrita pelo modelo esférico, demonstrando um padrão de distribuição agregado da espécie. Observa-se nos mapas de krigagem a tendência de dispersão de *E. paraensis* nas áreas estudadas, de uma região de maior concentração de árvores e influenciada por altitudes mais elevadas para outra de menor concentração com altitudes baixas. *Euxylophora paraensis* apresentou padrão de distribuição agregada na floresta estudada possivelmente devido à sua síndrome de dispersão barocórica, com dependência espacial descrita pelo modelo esférico e diferenças significativas, em relação a variável topográfica, sendo recomendado levar em consideração a variável altitude para se predizer os ambientes mais adequados de possível ocorrência da espécie.

**Palavras-chave:** *Geoestatística, Semivariograma, Krigagem, Pau-amarelo, Altitude.*

**SPACE ANALYSIS OF *Euxylophora paraensis* Huber IN THE EASTERN AMAZON****ABSTRACT**

The mechanisms of sustaining managed forests are not yet adequately addressed. And above all, if these species are not managed differently from the others, they risk extinction in the medium and long term. *Euxylophora paraensis* (Huber), because of the high index of logging, this species has suffered population reduction, being potentially susceptible to the impacts of the exploration, its large trees are listed in the Brazilian flora species list threatened with extinction. However, the spatial structure of its natural populations and the effects of management on this species are unknown. Therefore, the objective of the study was to characterize and quantify the spatial distribution of *Euxylophora paraensis* in order to establish conservation and preservation strategies in the Eastern Amazon. The study was carried out at the farm Rio Capim, Cauaxi, Sumal and Caculé Farm Management Units owned by CKBV Florestal Ltda., Belonging to the CIKEL Group. The company has six forest management units in the state of Pará certified by the Forest Stewardship Council (FSC) since 2001. To evaluate the spatial distribution of *E. paraensis*, geostatistical analysis was used from the semivariogram modeling and mapping of kriging. There was spatial dependence of *E. paraensis* described by the spherical model, showing an aggregate distribution pattern of the species. It is observed in the kriging maps the dispersion tendency of *E. paraensis* in the studied areas, from a region with a higher concentration of trees and influenced by higher altitudes to one of lower concentration with low altitudes. *Euxylophora paraensis* presented an aggregate distribution pattern in the studied forest possibly due to its baroque dispersion syndrome, with spatial dependence described by the spherical model and significant differences, in relation to the topographic variable, being recommended to take into account the altitude variable to predict the most the possible occurrence of the species.

**Keywords:** *Geostatistics, Semivariogram, Kriging, Yellow-wood, Altitude.*

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Compreender a dinâmica espacial em florestas é também uma alternativa que pode contribuir como resultado para os processos que envolvem o funcionamento dos ecossistemas (PRETZSCH, 2009). A associação espacial entre diferentes compartimentos pode ser interpretada em termos de relações de facilitação ou concorrência envolvidas processos de recrutamento.

Compreender o mecanismo de distribuição espacial das espécies é de extrema importância na biologia da conservação, nos estudos biogeográficos e nas pesquisas sobre co-evolução de espécies (GUISAN & ZIMMERMANN, 2000; MORELLI & TRYJANOWSKI, 2014; MOUDR'Y & ŠÍMOVÁ, 2015). Portanto, em uma análise espacial, essas interações podem ser desenvolvidas por modelagens especializadas, onde os atributos climáticos são considerados juntamente com a modelagem de distribuição de espécies. São métodos numéricos baseados entre a ocorrência e densidade de espécies e as estimativas ambientais, como a altitude para criação de mapas preditivos.

Diferentes estágios e processos de ciclos de vida das plantas podem influenciar o padrão de distribuição de seus indivíduos. Por exemplo, as diferenças nos modos de dispersão de sementes/frutos, germinação de plântulas, sobrevivência de plântulas ou efeito de grandes árvores após a regeneração, fatores abióticos podem afetar o padrão espacial das espécies. Isso também pode ser determinado por auto-desbaste e competição em estágios de vida mais avançados, especialmente quando o recrutamento inicial foi agrupado (BRÉCHET et al., 2011).

Poucos estudos consideraram a estrutura da floresta natural ou os aspectos autoecológicos das principais espécies arbóreas (BANNISTER et al., 2006, CUEVAS & VARGAS, 2006). A compreensão da estrutura e da dinâmica das florestas tem importância fundamental ao elaborar um plano de gestão para uso múltiplo das florestas. Uma abordagem para a compreensão da dinâmica da regeneração é por meio de padrões de distribuição espacial de árvores (VARGAS et al., 2010). Contudo, organismos frequentemente mostram padrões de distribuição espacial, formando manchas, gradientes ou outros tipos (DALE et al., 2002). A análise de tais padrões é uma ferramenta estatística relevante para estudar a dinâmica florestal (VARGAS et al., 2010), que ajuda na compreensão da ecologia das espécies (BELL et al., 2010).

Efeitos do desmatamento e da colheita de árvores sem conhecimento são importantes questões ambientais em escala global (FAO, 2012). A floresta é desmatada, degradada e fragmentada pela colheita de madeira, incêndios artificiais e conversão do uso da terra.

Todos os anos, cerca de 13 milhões de hectares (ha) de floresta são convertidos para outros usos da terra (FAO, 2012). Logo, a caracterização da distribuição espacial das espécies que compõem uma floresta nativa também pode ser informação extremamente importante para balizar o manejador florestal na definição de critérios para selecionar as espécies a serem removidas da população, evitando dessa forma a degradação e, conseqüentemente, incêndios florestais, desmatamentos e conversão da floresta, viabilizando a elaboração e execução de planos de manejo que tenham compromisso com a sustentabilidade (SCALON et al., 2012).

Neste contexto, insere-se a espécie *Euxylophora paraensis*. O gênero *Euxylophora* é monoespecífico (KUBITZKI et al., 2011; PIRANI, 2016), pertencente à família *Rutaceae* (STEVENS, 2012). Conhecida como pau amarelo, é uma árvore com 40 m a 50 m de altura, o tronco apresenta casca (ritidoma) com desprendimento em placas escamosas. Quando se faz um pequeno corte no tronco observa-se coloração amarelada (MARGALHO et al., 2014).

Uso intensivo dos recursos de sua madeira normalmente executado de maneira não sustentável vem causando danos irreversíveis em suas populações naturais, e conseqüentemente ameaçando a extinção. Isso se deve em grande parte à colheita florestal não planejada, realizada de forma intensiva e seletiva, pois a espécie *Euxylophora paraensis* tem alta produtividade silvicultural e valor econômico e baixa densidade populacional natural (MESSINA, 2016). Por isso, a regeneração é muito afetada com a redução da população. Atualmente, esta espécie encontra-se na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção (IBAMA, 2018) e na lista do estado do Pará (SEMAS, 2018).

Diante disso, surgem estratégias para se conhecer a ocorrência dessas espécies. No Brasil, estudos sobre a distribuição espacial das plantas foram escassos na última década (NASCIMENTO et al., 2002), mas começaram a aumentar nos últimos anos (ANJOS et al., 2004; LINDENMAIER & BUDKE 2006; GIEHL et al., 2007; PALUDO et al., 2009; HIGUCHI et al., 2010; RODE et al., 2010). Devido aos avanços em técnicas computacionais nas últimas décadas (HOOTEN et al., 2003), vários modelos foram criados para a análise de padrões espaciais.

Neste sentido, a geoestatística se destaca como um conjunto de técnicas estatísticas para modelagem espacial e mapeamento. Com base na Teoria das Variáveis Regionalizadas (MATHERON, 1971), considerado a base teórica para a geoestatística, que uma função numérica espacial utilizada para medir um fenômeno espacial. As estimativas das variáveis espaciais são tomadas em locais adicionais onde a amostragem

convencional é feita e os mapas temáticos são compostos por interpolação geoespacial (PELLISSARE et al., 2017). Embora a geoestatística seja comumente aplicada nas ciências da Terra, seu potencial de modelagem espacial já vindo sendo amplamente utilizado para descrever o comportamento de florestas e tem sido útil na quantificação de padrões espaciais mais comuns, que muitas vezes escondem sua complexidade ecológica.

### 1.1 Objetivo geral

Caracterizar e quantificar a distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* a fim de estabelecer estratégias de conservação e preservação na Amazônia Oriental.

### 1.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar o padrão de distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* em floresta natural de terra firme manejada no município de Paragominas-PA;
2. Aplicar a análise geoestatística e correlacionar os padrões espaciais e a dinâmica da espécie *Euxylophora paraensis* em floresta natural manejada para posterior desenvolvimento de estratégias de preservação;
3. Verificar a ocorrência de *Euxylophora paraensis* e a influência da altitude na distribuição espacial em diferentes unidades de manejo florestal no estado do Pará.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, A.; MAZZA, M.C.M.; SANTOS A.C.M. & DELFINI, L.T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 38-45, 2004.
- BANNISTER, J.; VARGAS, R.; DANTON, P. Fagara mayu (Bertero ex Colla) Engler. In: Donoso C (ed) **Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina**. Autoecología: p. 599-605. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.2006.
- BELL, J.R.; KING, R.A.; BOHAN, D.A. & SYMONDSON, W.O.C. Spatial co-occurrence networks predict the feeding histories of polyphagous arthropod predators at field scales. **Ecography**, v. 33, p. 1-9, 2010.
- BRÉCHET, L.; PONTON, S.; ALMÉRAS, T.; BONAL, D.; EPRON, D. Does spatial distribution of tree size account for spatial variation in soil respiration in a tropical forest? **Plant Soil**, v. 347, p. 293–303, 2011. DOI 10.1007/s11104-011-0848-1.

CUEVAS J.G.; VARGAS, R. *Drimys confertifolia* Phil. In: Donoso C (ed) **Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología**: p. 593-598. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.2006.

DALE, M.R.T.; DIXON, P.; FORTIN, M.J.; LEGENDRE, P.; MYERS, D.E.; ROSENBERG, M.S. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. **Ecography**, v. 25, p. 558-577, 2002.

GIEHL, E.L.H.; ATHAYDE, E.A.; BUDKE, J.C.; GESING, J.P.A.; EISINGER, S.M.; CANTO-DOROW, T.S. Espectro e distribuição vertical das estratégias de dispersão de diásporos do componente arbóreo em uma floresta estacional no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 137-145, 2007.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecology Modelling**, v.135, p.147–186, 2000.

HIGUCHI, P.; SILVA, A.C.; LOUZADA, J.N.C.; MACHADO, E.L.M. Spatial patterns of a tropical tree species growing under an eucalyptus plantation in South-East Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 271-277, 2010.

HOOTEN, M.B.; LARSEN, D.R. & WIKLE, C.K. Predicting the spatial distribution of ground flora on large domains using a hierarchical Bayesian model. **Landscape Ecology**, v. 18, p. 487-502, 2003.

IBAMA. Lista de espécies ameaçadas de extinção. 2014. Available from: <<http://www.ibama.gov.br/documentos/lista-deespecies-ameacadas-de-extincao>>. Acesso: May 03, 2018.

KUBITZKI, K. **Rutaceae**. In: KUBITZKI, K. (Ed.). *The Families and Genera of Vascular Plants*. Hamburg: Springer-Verlag, 2011, p. 276-356.

LINDENMAIER, D.S.; BUDKE, J.C. Florística, diversidade e distribuição espacial das espécies arbóreas em uma floresta estacional na bacia do Rio Jacuí, sul do Brasil. **Botânica**, v. 57, p.193-216, 2006.

MARGALHO, L. F.; GURGEL, E. S. C.; GOMES, J. I.; GROppo, M.; MARTINS-DASILVA, R. C. V.; CARVALHO, L. T. DE; SOUZA, A. S. DE. 2014. Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber - *Rutaceae*), 1-6p.

MATHERON, G., 1971. **The Theory of Regionalized Variables and Its Applications**. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Fontainebleau.

MESSINA, T. ***Euxylophora paraensis* Huber, Avaliação de risco de extinção**. Available from:<<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/ptbr/profile/Euxylophora%20paraensis>>. Acesso: Nov. 09, 2016.

MORELLI, F.; TRYJANOWSKI, P. Associations between species can influence the goodness of fit of species distribution models: the case of two passerine birds. **Ecological Complexity**, v. 20, p. 208–2012, 2014.

MOUDRÝ, V.; SÍMOVÁ, P. Relative importance of climate, topography, and habitats for breeding wetland birds with different latitudinal distributions in the Czech Republic. **Applied Geografic**, v. 44, p. 165–171, 2015.

NASCIMENTO, N.A.; CARVALHO, J.O.P.; LEÃO, N.V.M. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionada ao manejo de Florestas Naturais. **Revista Ciência Agrária**, v. 37, p. 175-194, 2002.

PALUDO, G.F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M.S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, p.1109-1121, 2009.

PELLISSARI, A. L.; FILHO, A. F.; PÉLLICO NETTO, S.; EBLING, A. A.; ROVEDA, M.; SANQUETTA, C. R. Geostatistical modeling applied to spatiotemporal dynamics of successional tree species groups in a natural Mixed Tropical Forest. *Ecological Indicators*, v. 78, p. 1–7, 2017.

PIRANI, J. R. *Euxylophora*. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**, 2016. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Online. Available from: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB621>>. Acesso: Jan. 14, 2017.

PRETZSCH, H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From measurement to model*. Springer Verlag, Berlin. 2009, pp. 664.

RODE, R.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; MACHADO, S.A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucaria angustifolia* e em uma Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do Paraná. **Floresta**, v. 40, p. 255-268, 2010.

SCALON, J. D.; OLIVEIRA, C. A. P. DE; MELLO, J. M. DE. Análise espacial de um fragmento florestal baseada no mosaico de dirichlet. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p.733-740, 2012.

SEMAS. SECRETARIA DE ESTADO MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE . **Lista de espécies da flora e da fauna ameaçadas no Estado do Pará**. Online. Available from: <<http://www.sema.pa.gov.br/2009/03/27/9439/>>. Acesso: Fev. 06, 2018.

STEVENS, P. F. **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 12, 2012. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MoBot/research/APweb/>>. Acesso em: 6 jun. 2017.

VARGAS, R.; CUEVAS, J. G.; QUESNE, C.; REIF, A.; BANNISTER, J. Spatial distribution and regeneration strategies of the main forest species on Robinson Crusoe Island. **Revista Chilena de História Natural**, v. 83, p. 349-363, 2010.

## CAPÍTULO 1

### 2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* (HUBER) EM FLORESTA NATURAL MANEJADA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

#### RESUMO

O objetivo desse trabalho foi caracterizar o padrão de distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* (pau-amarelo), para subsidiar estratégias de conservação dessa espécie em floresta de terra firme manejada no estado do Pará. A área de estudo está localizada na Fazenda Rio Capim, pertencente a CKBV Florestal Ltda., no município de Paragominas. Para a análise da distribuição espacial das árvores utilizou-se a geoestatística, a partir da modelagem de semivariograma e confecção de mapas de krigagem. Todas as avaliações tiveram melhor ajuste ao modelo esférico, apresentando o maior coeficiente de determinação em relação aos outros modelos testados. *Euxylophora paraensis* apresentou padrão de distribuição agregada na floresta estudada, com dependência espacial descrita pelo modelo esférico, formando reboleiras de 300 a 1000 m.

**Palavras-chave:** Geoestatística, Semivariograma, Krigagem, Pau-amarelo.

#### SPATIAL DISTRIBUTION PATTERN OF *Euxylophora paraensis* HUBER IN A NATURAL MANAGED FOREST IN THE EASTERN AMAZON

#### ABSTRACT

The objective of this work was to characterize the spatial distribution pattern of the *Euxylophora paraensis* (yellow-wood), to support conservation strategies of this species population in a managed terra firme forest in the state of Pará. The study area is located in Fazenda Rio Capim, which belongs to The CKBV Florestal Ltda., in the municipality of Paragominas. For analyzing the spatial distribution of trees, geostatistics was used, based on the semivariogram modeling and kriging mapping. All evaluations had better adjustment to the spherical model, presenting the highest coefficient of determination in relation to the other models tested. *Euxylophora paraensis* presented an aggregate distribution pattern in the study forest, with spatial dependence described by the spherical model, forming tree clusters of size from 300 to 1000 m.

**Key words:** Geostatistics, Semivariogram, Kriging, Yellow-wood-tree.

## 2.1 Introdução

O manejo sustentável de florestas naturais é uma tarefa complexa e ainda representa um desafio, dada a complexidade dos ecossistemas florestais tropicais. Esta complexidade dificulta as avaliações dos parâmetros biológicos, principalmente os relacionados a crescimento e produção (VATRAZ et al., 2012).

A manutenção da diversidade de espécies arbóreas em florestas naturais é fundamental para o sucesso dos empreendimentos florestais na Amazônia (ALVEZ & MIRANDA, 2008). A estimativa do crescimento da floresta é essencial para o plano de manejo sustentável (VATRAZ et al., 2016). Porém, nem todos os mecanismos de sustentabilidade das florestas manejadas são adequadamente abordados pelos manejadores e pela legislação florestal brasileira em vigor.

Neste contexto encontra-se a espécie *E. paraensis* Huber (Rutaceae), conhecida popularmente como pau-amarelo devido à cor de sua madeira. O gênero *Euxylophora* é monotípico, apresenta somente a espécie *E. paraensis* de ocorrência no norte do Brasil (BUCHANAN et al., 2000).

Devido às boas qualidades da madeira, principalmente para confecção de móveis (ISIDORO et al., 2012), essa espécie foi intensivamente explorada sem nenhum planejamento desde o século XIX até o final da década de 1990, o que reduziu suas populações naturais a níveis críticos nos últimos anos.

Devido à forte redução em suas populações naturais, *E. paraensis* foi incluída na lista oficial da flora nacional ameaçada de extinção em 2008, segundo a Portaria do Ministério do Meio Ambiente N° 443, de 17 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2014), com manejo restrito pela legislação vigente e controlado pelos órgãos oficiais. Porém, se desconhece informações básicas como o crescimento, recrutamento, regeneração, distribuição espacial de suas populações naturais e os efeitos do manejo florestal sobre a espécie.

Atualmente, o estudo dos padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas é uma ferramenta muito utilizada e promissora para entender o comportamento de diversas espécies (CAPRETZ et al., 2012; LOREGIAN et al., 2012; VIEIRA et al., 2013; ABREU et al., 2014). O conhecimento sobre padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas pode fornecer informações importantes dos processos ecológicos e características do próprio ambiente e auxiliar em processos de amostragem a respeito da espécie estudada (CAPRETZ et al., 2012). Entretanto, essas informações ainda são escassas para a maioria

das espécies florestais na Amazônia Oriental, logo não existe registro na literatura sobre distribuição espacial de *E. paraensis*.

Existem inúmeras metodologias criadas ou desenvolvidas para caracterizar o padrão de distribuição espacial de espécies arbóreas. Dentre estas metodologias, as técnicas de geoestatística (interpolação por Krigagem) tem se destacado em estudos florestais e seu uso vem aumentando nos últimos anos (AMARAL et al., 2013; ZHANG et al., 2015; VALTERA et al., 2013; LUNDGREN et al., 2015). A interpolação por Krigagem é um método que utiliza a informação da posição da amostra e o valor que a variável assume em cada ponto. Dessa forma, de cada ponto de amostragem obtém-se o valor da variável e as coordenadas (x e y), que são utilizados para construir mapas de dispersão das árvores.

*E. paraensis* é uma espécie cuja madeira tem alto valor comercial, porém está na lista das espécies ameaçadas de extinção. Por isso, muitas informações de base ecológica e silvicultural precisam ser obtidas para facilitar o seu manejo e conservação. O padrão de distribuição espacial é uma dessas informações ecológicas a serem obtidas, pois a definição das práticas de manejo a serem adotadas vai depender desse padrão de distribuição.

Além da distribuição espacial, é importante avaliar a distribuição diamétrica de espécies arbóreas em florestas tropicais, pois essa avaliação permite inferir sobre, ingresso, mortalidade e histórico de desenvolvimento dessas espécies, além de quantificar a intensidade de alterações que ocorreram na comunidade florestal (REIS et al., 2014). Esse diagnóstico ao longo do tempo é uma ferramenta útil nas decisões silviculturais no manejo florestal, que pode possibilitar a sustentabilidade desta atividade.

Portanto, devido à importância desta espécie e a falta de estudos básicos para se implementar o seu manejo e conservação adequados, objetivou-se com o presente trabalho caracterizar o padrão de distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* (pau-amarelo) por meio de análise geoestatística em floresta de terra firme manejada no estado do Pará.

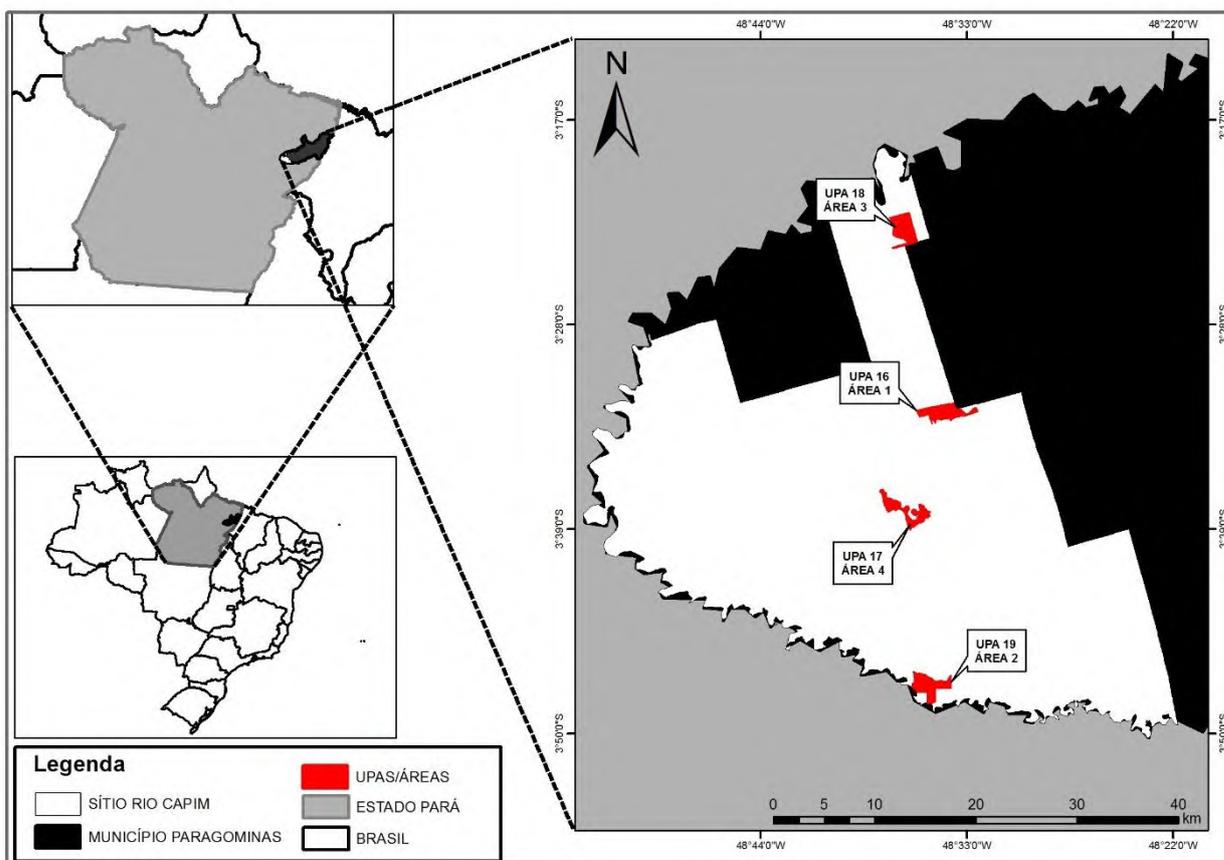
## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Unidade de Manejo Florestal Fazenda Rio Capim, de propriedade da Empresa CKBV Florestal Ltda., pertencente ao Grupo CIKEL, localizada entre as coordenadas geográficas: 3°30' e 3°45'S e 48°30' e 48°45'W, no sudeste paraense. A empresa possui seis unidades de manejo florestal no estado do Pará,

totalizando uma área de 450.000 ha. Entre estas unidades está a Fazenda Rio Capim, com área de 140.000 ha, sendo 121.000 ha de floresta manejados e certificados pelo Forest Stewardship Council (FSC) desde 2001. Foram selecionadas quatro Unidades de Produção Anual – UPA: UPA 16 (Área 1), UPA 19 (Área 2), UPA 18 (Área 3) e UPA 17 (Área 4) (Figura 1). As áreas 1, 2, 3 e 4 foram exploradas nos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016, porém a espécie *E. paraensis* não foi colhida.

**Figura 1.** Localização das áreas de estudo de distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* no município de Paragominas, PA - Brasil.



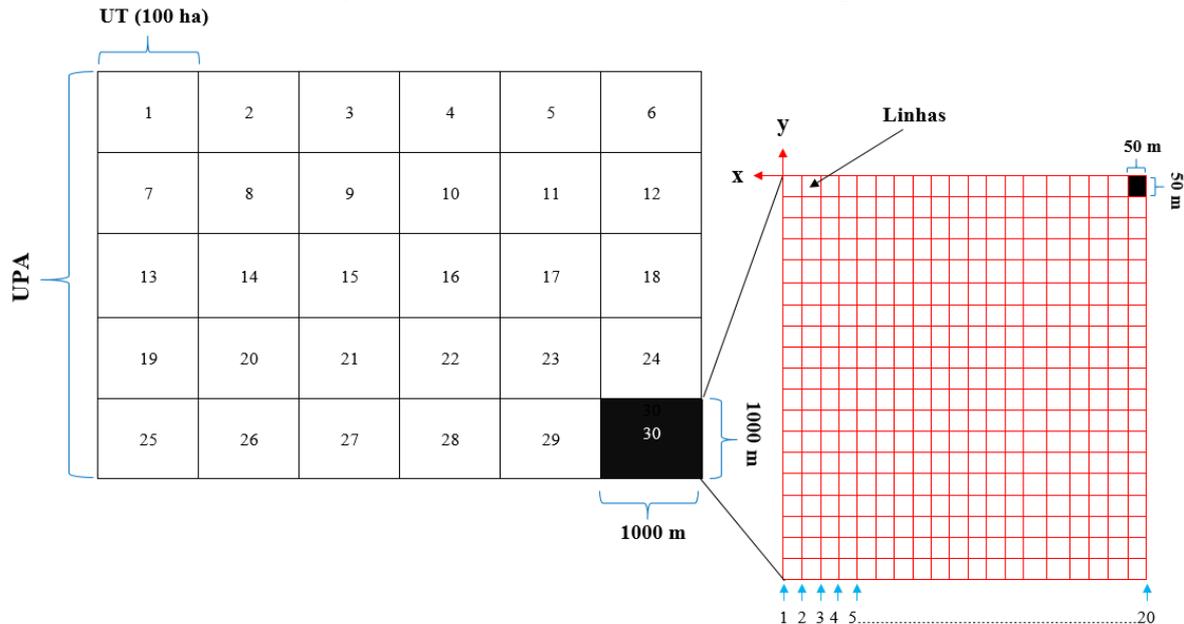
Fonte: Autor, 2018.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo “Aw”, isto é, tropical chuvoso, com precipitação pluviométrica média anual de 1.800 mm, temperatura média anual de 26,3 °C e umidade relativa do ar de 81% (ALVARES et al., 2013). A vegetação da área de estudo é do tipo floresta de terra firme, classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012).

As UPAs foram divididas em Unidades de Trabalho - UTs. Cada UT foi dividida em 20 linhas com espaçamento de 50 m entre si, para orientar no caminhamento e

localização das árvores (Figura 2). Em cada UT, foram registradas as coordenadas (x, y), diâmetro à altura do peito (DAP = diâmetro medido a 1,30m do solo)  $\geq 40$  cm, e altura em metros. Os indivíduos de *E. paraensis* foram devidamente plaqueados e georreferenciados.

**Figura 2.** Croqui de Unidade de Produção Anual (UPA), Unidades de Trabalho (UT) e linhas utilizadas no inventário florestal realizado a 100% de intensidade nas UPAs 16, 17, 18 e 19 na Fazenda Rio Capim, município de Paragominas, PA-Brasil.



**Fonte:** Autor, 2018.

### 2.2.2 Análise geoestatística

Para avaliar a distribuição espacial de *E. paraensis*, utilizou-se a análise geoestatística a partir da modelagem de semivariograma e confecção de mapas de krigagem. Foi utilizada a informação da posição da amostra (árvore) e o valor que a variável (quantidade de árvores inventariadas) assumiu em cada ponto. Desta forma, de cada ponto de amostragem obteve-se o valor da variável e as coordenadas (longitude e altitude) do local onde foi encontrada cada árvore de *E. paraensis* (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

A primeira etapa da análise é a obtenção dos semivariogramas, que é o mais importante passo no procedimento de uma análise geoestatística (SILVA et al., 2011), visto, que o modelo escolhido será utilizado no processo da krigagem (mapas de contornos) e influenciará todos os resultados interpolados e as conclusões. O semivariograma foi estimado pela Equação 1:

$$y^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ , separados por um vetor  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , é função da distância ( $h$ ), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância (FARIAS et al., 2002).

Após este procedimento, foi escolhido o modelo de semivariograma que mais se ajustou aos dados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e esse foi utilizado no processo de Krigagem (DIONISIO et al., 2015).

A melhor definição dos parâmetros variográficos para os dados foi o ajuste ao modelo esférico estimado pela Equação 2:

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], 0 < h < a \\ \gamma(h) &= C_0 + C_1, h \geq a.\end{aligned}\quad (2)$$

Esse modelo é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita,  $C_0$ , e do patamar,  $C_1$ , depois passando uma reta que intercepte o eixo  $y$  em  $C_1$  e seja tangente aos primeiros pontos próximos de  $h=0$ . Essa tangente cruzará o patamar à distância,  $a'=2/3 a$ . Assim, o alcance,  $a$ , será  $a=3a'/2$ . O modelo esférico é linear até aproximadamente  $1/3 a$ .

### 2.2.3 Krigagem

Geralmente, o interesse da análise não está somente em modelar a estrutura de variabilidade. Em diversas situações, o interesse está na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local ou pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. Nesse caso, é necessário utilizar a krigagem como estimador por meio da Equação 3:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i). \quad (3)$$

Portanto, realizou-se a construção dos mapas de krigagem, que usam a dependência espacial modelada no semivariograma e estimam valores em qualquer posição da área estudada sem tendência e com variância mínima, permitindo visualizar o comportamento da variável em estudo por meio de mapas de isolinhas e de superfície (SIQUEIRA et al., 2008; DIONISIO et al., 2015).

### 2.2.4 Índice de dependência espacial

Para classificar o índice de dependência espacial (IDE) pela relação de  $(C_0/(C_0+C_1))$  foi utilizada a metodologia descrita por Cambardella et al. (1994), que determina quanto da variância espacial está presente na variância total da amostra. Esses autores consideram

forte dependência espacial se  $IDE < 0,25$ , moderada dependência se  $0,25 \leq IDE \leq 0,75$  e fraca dependência se  $IDE > 0,75$ .

Para análise dos dados e confecção dos mapas de distribuição espacial de *E. paraensis* foi utilizado o programa estatístico Surfer Versão 11.0.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Parâmetros populacionais

Nos 2.363 ha amostrados nas quatro áreas na Fazenda Rio Capim, foram encontrados 467 indivíduos de *E. paraensis* com  $DAP \geq 40$  cm, distribuídos nas quatro áreas. O DAP variou de 40,1 a 204,0 cm e a média por área é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Parâmetros populacionais de *Euxylophora paraensis* (indivíduos com  $DAP \geq 40$  cm) em quatro áreas manejadas, no período de 2013 a 2016 no município de Paragominas, PA - Brasil.

Área	Área (ha)	Nº ind. (DAP $\geq 40$ cm)	Densidade total (ind.ha <sup>-1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	DAP médio (cm)
1	584	195	0,33	0,9455	67,5
2	594	69	0,12	0,2867	68,9
3	624	99	0,16	0,4269	69,5
4	561	104	0,19	0,5142	69,2

**Fonte:** Autor, 2018.

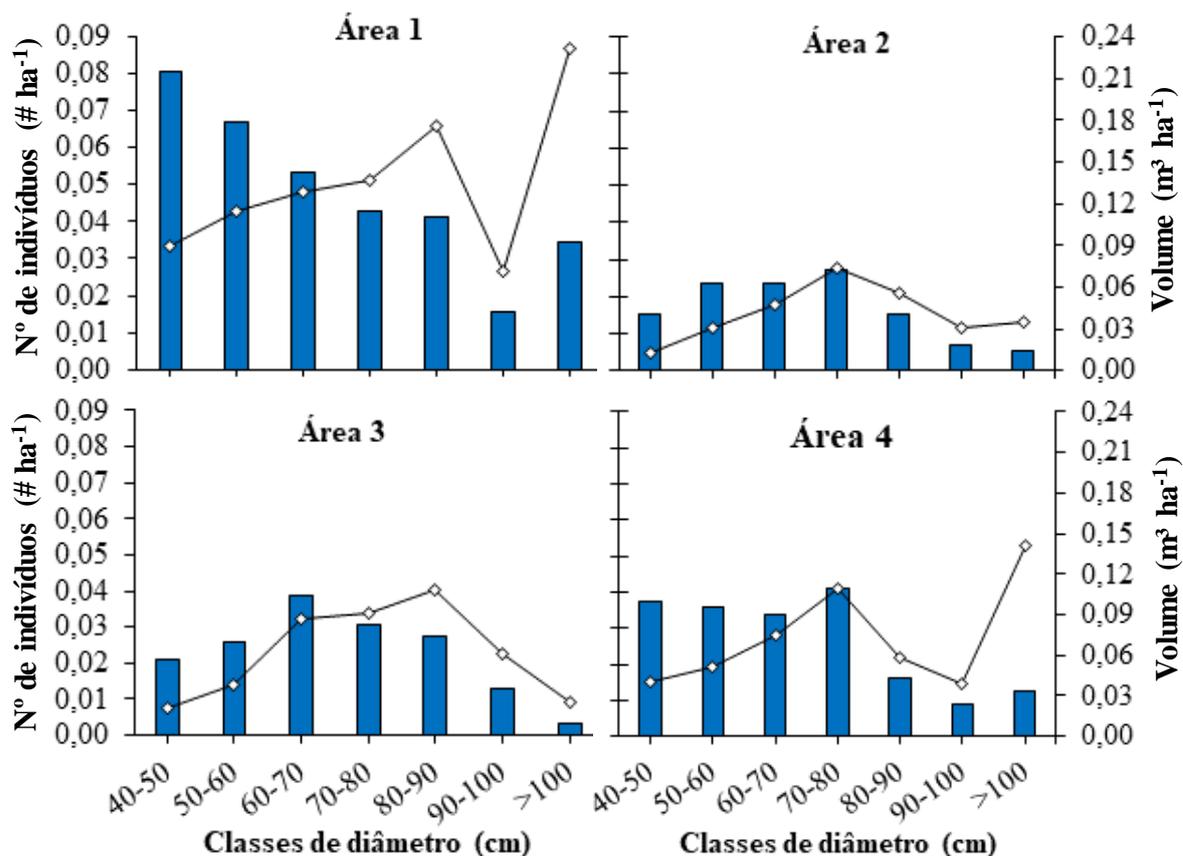
Foi observado nas quatro áreas que a densidade de *E. paraensis* está de acordo com o limite mínimo exigido pela legislação para manutenção da espécie na área explorada que, segundo a Instrução Normativa Nº 1 de 12 de fevereiro de 2015 é de, “pelo menos, 4 (quatro) árvores por espécie por 100 ha (cem hectares) em cada unidade de trabalho”, por se tratar de espécie em risco de extinção (BRASIL, 2015). A menor densidade ocorreu na Área 2 com 0,12 ind. ha<sup>-1</sup>, o que equivale a 12 árvores da espécie em 100 ha. Esses resultados demonstram que, de acordo com a Instrução Normativa Nº 1 de 12 de fevereiro de 2015, a espécie apresenta potencial para extração madeireira nas áreas estudadas.

De acordo com a Portaria do Ministério do Meio Ambiente Nº 443, de 17 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2014), *E. paraensis* é uma espécie ameaçada de extinção, criticamente em perigo – CR e, portanto, tem o seu corte proibido. Entretanto, os resultados do presente estudo demonstram que é possível explorar *E. paraensis* respeitando os mecanismos de sustentabilidade e conservação da espécie na área de estudo. Considerando a densidade de árvores no estoque de colheita aptos a seleção de corte, é possível estabelecer uma situação hipotética de manejo florestal sustentável numa área de 100 ha, utilizando

Instrução Normativa N° 05, de 10 de setembro de 2015 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS, 2015). Assim, teríamos 29 (área 1), 8 (área 2), 12 (área 3) e 15 (área 4) árvores de *E. paraensis* para uma possível exploração, pois 4 árvores deveriam ser mantidas na área de manejo. No entanto, é importante ressaltar que os custos envolvidos na exploração e o volume em cada área são fatores relevantes para tomada de decisão em explorar ou não, uma vez, que o volume destas árvores sendo baixo pode não ser suficiente no que se refere ao retorno financeiro para compensar os custos envolvidos (COSTA et al., 2018).

Com exceção da área 1 que apresentou maior número de indivíduos e maior volumetria por unidade de área, as demais áreas (2, 3 e 4) apresentaram grandes semelhanças quanto a densidade e volume por hectare com maior concentração de indivíduos nas classes diamétricas intermediárias (60-80) (Tabela 1 e Figura 3).

**Figura 3** - Número de indivíduos e volume de madeira de *Euxylophora paraensis* por classe de diâmetro por hectare em quatro áreas manejadas, no município de Paragominas, PA - Brasil. Barras indicam a densidade de indivíduos (# ind. ha<sup>-1</sup>) e linhas indicam o volume por unidade de área (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).



Fonte: Autor, 2018.

A estrutura da população apresentou um declínio no número de indivíduos a partir da classe 70-80 cm, o que caracteriza forma assimétrica positiva (VIEIRA et al., 2013). As atividades antrópicas também podem ser outro fator explicativo para a distribuição diamétrica, principalmente nas maiores classes de diâmetro. Esse tipo de estrutura populacional também foi observado por Condé et al. (2016), em Floresta Ombrófila Densa de terra firme, ao fazer análise da distribuição diamétrica para as espécies *Cedrelinga cateniformis* e *Dinizia excelsa*.

Devido à distribuição irregular de *E. paraensis* nas quatro áreas de estudo, observa-se que a população não está em equilíbrio entre as diferentes classes diamétricas. As populações estudadas não apresentaram uma distribuição diamétrica em forma de “J invertido”, ou seja, aquela em que o número de indivíduos vai reduzindo das menores classes de diâmetro para as maiores. A distribuição dos indivíduos na forma de “J invertido” é relatada por diversos autores como um indicador de estabilidade da população e capacidade de auto-regeneração e reprodução sob dossel fechado (SILVA et al., 2015; ABREU et al., 2014; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; GONÇALVES & SANTOS, 2008; BERNASOL & LIMA-RIBEIRO, 2010). Nas áreas 2, 3 e 4 a distribuição se caracterizou em forma de “sino” (BERNASOL & LIMA-RIBEIRO, 2010), ou seja, com a maioria dos indivíduos nas classes intermediárias. Esse tipo de estrutura indica espécies que não se reproduzem com frequência sob o dossel fechado e que necessitam da abertura de clareiras para regeneração.

A distribuição irregular observada nas populações estudadas de *E. paraensis* pode estar ligada a características ecofisiológicas da espécie. De acordo com Pinheiro et al. (2007) e Gualberto et al. (2014), *E. paraensis* é classificada como espécie intolerante à sombra ou demandante de luz, necessitando, portanto, de abertura de clareiras para que ocorra sua regeneração natural. Assim, a distribuição diamétrica irregular observada nas quatro áreas amostradas pode ser explicada como a típica distribuição de uma espécie demandante de luz. Com esta estrutura populacional, a exploração de *E. paraensis*, pode não ser sustentável, sendo necessário a adoção de um plano de manejo específico para essa espécie, incluindo aplicação de tratamentos silviculturais, a fim de proporcionar o seu estabelecimento em todas as classes diamétricas e, assim, tornar viável a sua colheita.

### 2.3.2 Análise geoestatística

Houve dependência espacial de *E. paraensis* descrita pelo modelo esférico, demonstrando um padrão de distribuição agregado da espécie, com um raio de agregação que variou de 300 a 1000 m (alcance do modelo) nas quatro áreas estudadas (Tabela 2).

O alcance ou raio de agregação é um parâmetro muito importante, pois representa a distância na qual há dependência espacial entre as amostras, possibilitando fazer uma análise do progresso da dispersão dessa espécie nas áreas estudadas e, conseqüentemente, na floresta. O padrão agregado pode ser resultante da heterogeneidade ambiental, onde existem microambientes favoráveis ao estabelecimento das espécies, ao padrão de dispersão das sementes e da probabilidade de sobrevivência das plântulas (VIEIRA et al., 2013).

**Tabela 2** - Parâmetros dos semivariogramas da distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* em quatro áreas de manejo, no município de Paragominas, PA - Brasil.

Área	UPA	*Parâmetros			Modelo	R <sup>2</sup>	K <sup>a</sup>	Grau de Dependência
		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (m)				
1	16	2,2	1,4	1000	Esférico	0,97	0,61	Moderado
2	19	0,5	2,35	370	Esférico	0,81	0,18	Forte
3	18	0,7	1,5	320	Esférico	0,97	0,32	Moderado
4	17	0,5	6,3	300	Esférico	0,99	0,07	Forte

\*Efeito pepita (C<sub>0</sub>), variância espacial ou contribuição (C<sub>1</sub>), alcance (a), <sup>a</sup> razão de C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>).

**Fonte:** Autor, 2018.

Resultados semelhantes foram encontrados por Abreu et al. (2014) estudando o padrão de distribuição espacial de *Carapa* spp. (andirobeiras) no estado do Amapá, onde constataram que essa espécie, se distribui de forma agregada. A distribuição espacial de uma espécie pode ser influenciada por fatores abióticos como disponibilidade de água, intensidade de luz e bióticos como ação de predadores ou patógenos e a dispersão de sementes (ABREU et al., 2014). Padrões espaciais específicos encontrados em florestas são guiados por dependência espacial de variáveis florestais como densidade, área basal, altura, volume, biomassa e condicionadas pelos diferentes níveis de competição (ARCHANJO et al., 2012). Estudos de distribuição espacial de espécies arbóreas e suas relações com fatores bióticos e abióticos são fundamentais para o avanço da pesquisa básica em ecologia, controle de alterações da biodiversidade e para desenvolver ações efetivas de conservação das espécies (ZHANG et al., 2015).

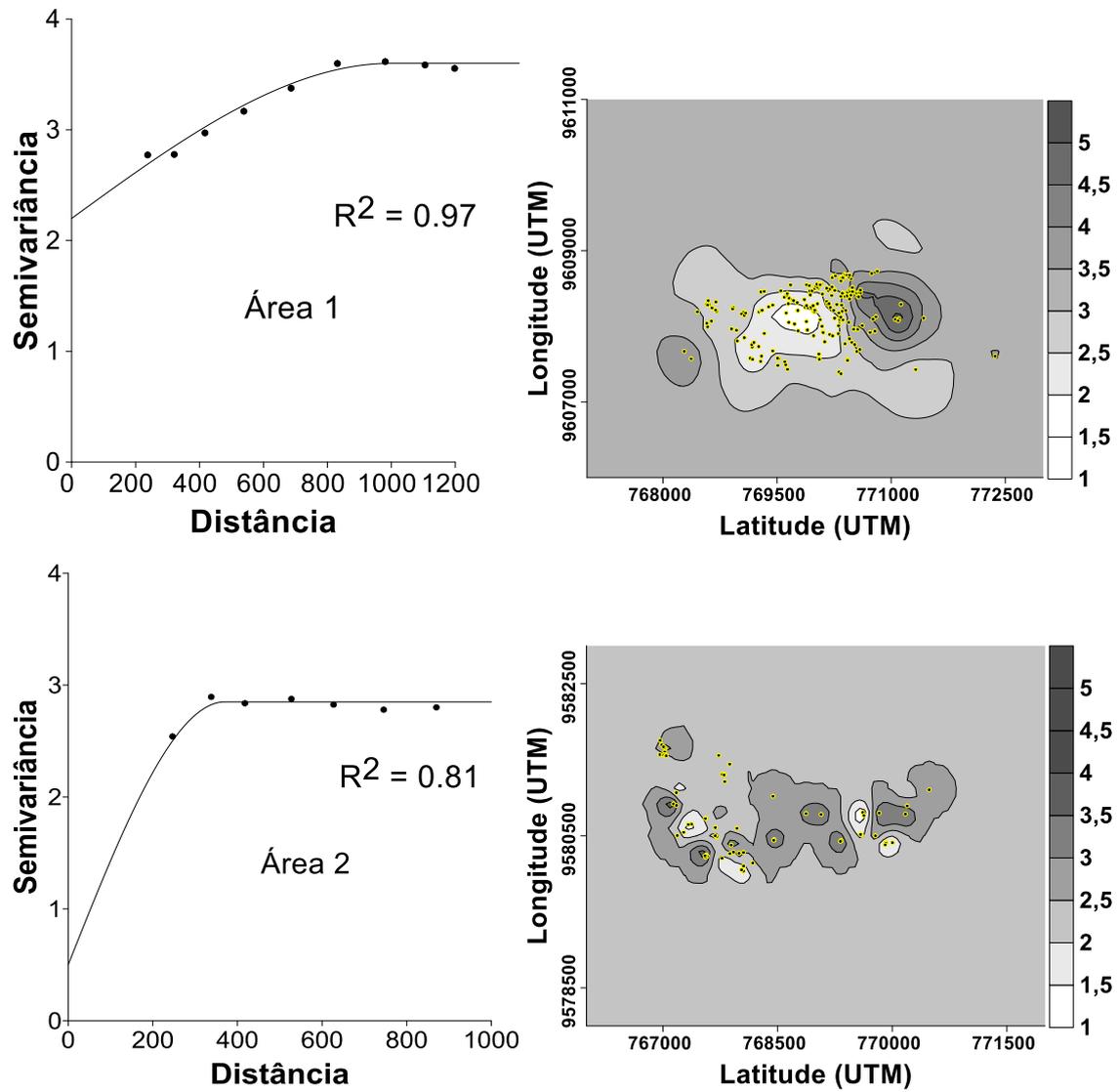
Condé et al. (2016) estudaram o padrão espacial de espécies madeireiras da Amazônia pelo método de coordenadas cartesianas e espaciais, em 9 ha de floresta manejada em Caracaraí, RR. Observou-se padrão espacial aleatório para *Eschweilera bracteosa* e *Manilkara huberi*, ambas com potencial para extração comercial em virtude do equilíbrio na densidade e volumetria. Porém, padrões espaciais dispersos e raros foram

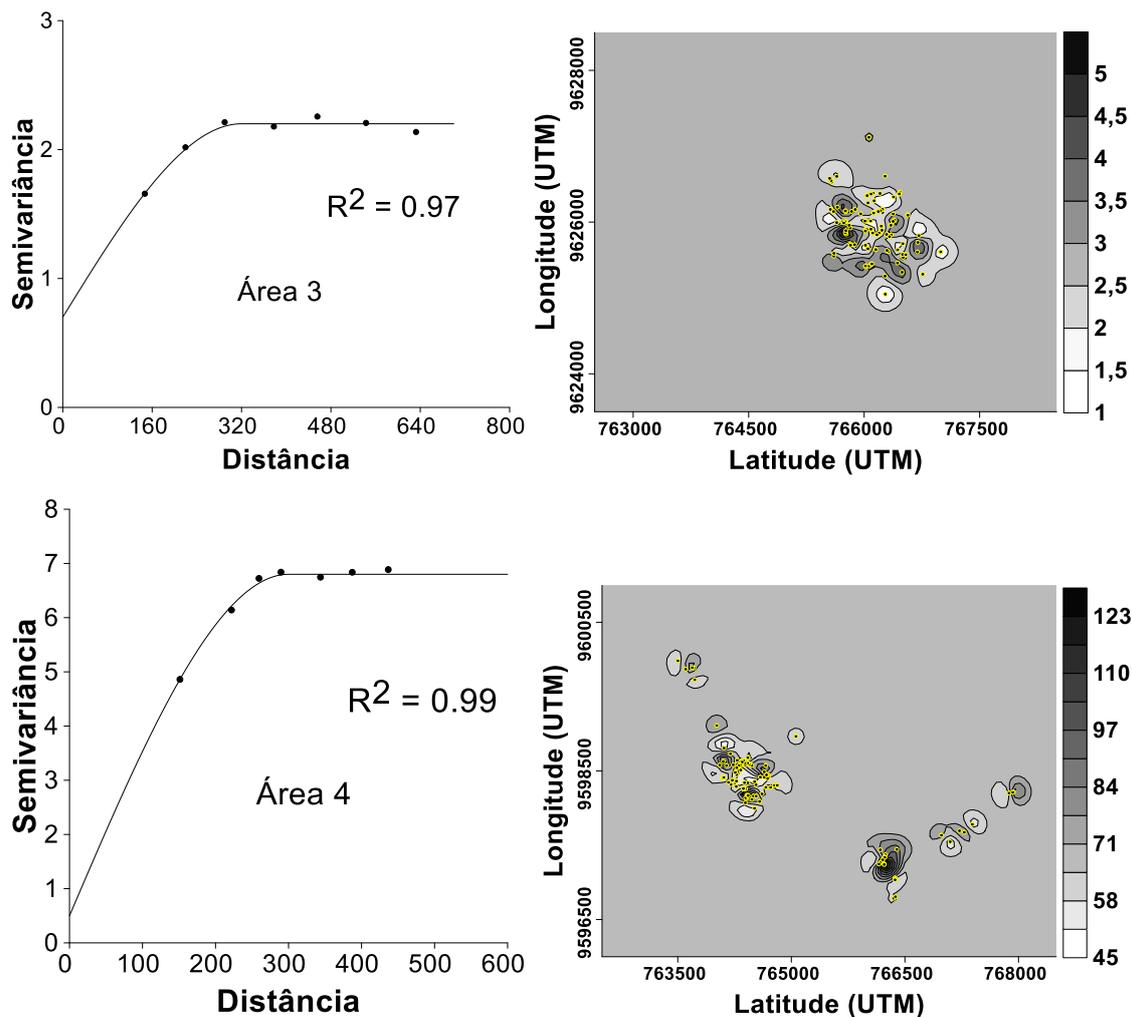
predominantemente observados em *Cedrelinga cateniformis* e *Dinizia excelsa*, exigindo demandas específicas para manejar essas espécies de forma sustentável.

A relação  $C_0/(C_0+C_1)$ , fornece a medida para estimar o grau de dependência existente nas amostras (agregação), ou seja, o grau de aleatoriedade que existe nos levantamentos (DIONISIO et al., 2015), sendo que estes valores variaram de 0,07 a 0,61 nas diversas áreas de amostragem do presente estudo (Tabela 2), indicando que a variação máxima entre pontos vizinhos é de 61% entre as áreas estudadas. Esses valores estão de acordo com a afirmação de Journel & Hijbregts (1978), de que valores abaixo de 0,80 indicam distribuição agregada da variável e valores acima deste índice indicam que o fenômeno estudado está tendendo para a aleatoriedade.

Na Figura 4 são apresentados os semivariogramas e os mapas de krigagem da distribuição espacial de *E. paraensis*. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica a qualidade do ajuste do modelo de semivariograma. Valores próximos de 1 (um) indicam bom ajuste do modelo (SILVA et al., 2011), o que foi observado no presente trabalho, em que esse parâmetro apresentou amplitude de 0,81 a 0,99, dando uma alta confiabilidade para a estimativa. Por meio dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas e da krigagem, foram elaborados os mapas, que permitiram visualizar o comportamento da distribuição espacial das árvores nas áreas. Nota-se nos mapas a distribuição agregada de *E. paraensis*, sendo possível visualizar a formação de manchas ou “reboleiras” (Figura 4).

**Figura 4** - Semivariogramas e mapas de krigagem da distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* em quatro áreas de manejo no município de Paragominas, PA - Brasil.





Fonte: Autor, 2018.

Observa-se nos mapas de krigagem a tendência de dispersão de *E. paraensis* nas áreas estudadas, de uma região de maior concentração de árvores para outra de menor concentração. Isso ficou bem visível, principalmente nas áreas 1 e 4, confirmando que a distribuição agregada é a que melhor se ajusta ao comportamento dessa espécie, caracterizada pela maior densidade de espécimes em determinados locais da área.

Segundo Guarino et al. (2014), a distribuição espacial do tipo agregado de uma população é fortemente influenciada pelos padrões de dispersão de sementes. *E. paraensis* apresenta síndrome de dispersão barocórica (AMARAL et al., 2009). As características desta síndrome também ajudam a explicar a distribuição agregada de *E. paraensis* encontrada neste trabalho, pois os frutos são dispersados pela força da gravidade e tendem a cair próximo à planta mãe. Com base nessas informações é possível supor que a forma de dispersão desta espécie pode ser considerada causa fundamental para seu modo de agregação. Esse padrão espacial agregado é, provavelmente, o mais

comum em espécies arbóreas neotropicais (CONDIT et al., 2000). De acordo com Archanjo et al. (2012), os padrões espaciais específicos encontrados em florestas são guiados por dependência espacial de variáveis florestais como densidade, área basal, altura, volume e biomassa, ou seja, refletem a ocupação dos espaços e usos dos recursos disponíveis no ambiente pelas espécies, condicionadas pelos diferentes níveis de competição.

## 2.4 Conclusão

*Euxylophora paraensis* apresentou padrão de distribuição agregada na floresta estudada possivelmente devido à sua síndrome de dispersão barocórica, com dependência espacial descrita pelo modelo esférico, formando reboleiras de 300 a 1000 m (alcance do modelo). Essa característica ecológica deve ser considerada nas tomadas de decisão sobre o manejo e conservação da espécie. Portanto, o uso da ferramenta geoestatística é de grande importância para verificar a dispersão da espécie *E. paraensis* para estudos de ecologia e conservação da espécie em florestas de terra firme manejadas.

*Euxylophora paraensis* apresentou densidade no estoque de colheita ( $DAP \geq 50$  cm) abaixo de  $1 \text{ ind. ha}^{-1}$  porém, a espécie tem presença de árvores em todas classes diamétricas no estoque de crescimento ( $DAP \geq 40$  cm), sendo desta forma, recomendado uma avaliação econômica para a tomada de decisão em manejar a espécie, pelo fato de haver poucas árvores no estoque de colheita.

## REFERÊNCIAS

ABREU, J. C.; GUEDES, M. C.; GUEDES, A. C. L.; BATISTA, E. M. Estrutura e distribuição espacial de andirobeiras (*carapa* spp.) em floresta de várzea do estuário amazônico. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 1009-1019, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509816614>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, J. C. Z. O.; MIRANDA, I. S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta amazônica**, v. 38, n. 4, p. 657- 666, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400008>.

AMARAL, D. D. D.; VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, S. S. D.; SALOMÃO, R. D. P.; SILVA, A. S. L. D.; JARDIM, M. A. G. Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Ciências Naturais, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009. <http://scielo.iec.gov.br/pdf/bmpegn/v4n3/v4n3a02.pdf>.

AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; LISBOA, G. S.; LONGHI, S. J.; WATZLAWICK, L. F. Variabilidade espacial do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 083-093, 2013. <http://www.ipecf.br/publicacoes/scientia/nr97/cap09.pdf>.

ARCHANJO, K. M. P. A.; SILVA, G. F.; CHICHORRO, J.F.; SOARES, C.P.B. Estrutura do componente arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cafundó, Cachoeiro de Itapemerim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 145- 160, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26311>.

BERNASOL, W. P.; LIMA-RIBEIRO, M. S. Estrutura espacial e diamétrica de espécies arbóreas e seus condicionantes em um fragmento de cerrado sentido restrito no sudoeste goiano. **Hoehnea**, v. 37, n. 2, p. 181-198, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062010000200001>.

**BRASIL**. Instrução Normativa N° 1, de 12 de fevereiro de 2015. Diário Oficial da União. p.67. 2015.

**BRASIL**. Portaria MMA N° 443, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União. 2014.

BUCHANAN, B.; GRUISSEM, R.; JONES, R. **Biochemistry and molecular biology of plants**, American Society of Plant Physiologists: New York, 2000.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.

CAPRETZ, R. L.; BATISTA, J. L. F.; SOTOMAYOR, J. F. M.; CUNHA, C. R.; NICOLETTI, M. F.; RODRIGUES, R. R. Padrão espacial de quatro formações florestais do estado de São Paulo, através da função k de Ripley. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 551-565, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/198050986622>.

CONDÉ, T. M.; TONINI, H.; SILVA, F.; BARNI, P. E.; CELES, C. H. S.; ARAUJO, R. F.; CAMPOS, M. A. A.; MIRANDA, D. L. C. Padrão espacial de espécies madeireiras da Amazônia pelo método de coordenadas cartesianas e espaciais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 115-125, 2016. <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.1111>.

CONDIT, R.; ASHTON, P. S.; BAKER, P.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GUNATILLEKE, S.; DALLA LANA, M.; BRANDÃO, C. F. L. S.; PELLICO NETO, S.; MARANGON, L. C.; RETSLAFF, F. A. S. Distribuição diamétrica de *Escheweilera ovata* em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa - Igarassu, PE. **Floresta**, v.43, n.1, p.59-68, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i1.25252>.

COSTA, D. L.; SANTOS, M. F.; BEZERRA, T. G.; SILVA RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O.; XIMENES, L. C.; COELHO, A. A. Estrutura e distribuição espacial de *Symphonia globulifera* L. f. em floresta de várzea baixa, Afuá-PA. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 1, p. 275-281, 2018. <http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5665/pdf>.

DIONISIO, L. F. S.; LIMA, A. C. S.; MORAIS, E. G. F.; CORREIA, R. G.; SANTOS, A. V. F.; XIMENES, C. K. S. Distribuição espacial de *Metamasius hemipterus* (Coleoptera: Curculionidae) em plantio de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq) em Roraima. **Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 3, p. 327-336, 2015. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2517>.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L. C. C. B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v. 10, p. 1-9, 2002. <http://hdl.handle.net/11449/1266>.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em floresta ombrófila mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v40i4.20328>.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 229 – 244, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000200006>.

GUALBERTO, M. L. C.; RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; VIEIRA, D. S. Fitossociologia e potencial de espécies arbóreas em ecossistema sucessional na floresta nacional do Tapajós, Pará. **Agroecossistemas**, v. 6, n. 1, p. 42-57, 2014. <http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/1593/2291>.

GUARINO, E. DE S. G.; GESSNER, C.M.; WADT, L. H. O.; FONSECA, F. L.; RAPOSO, A. Estrutura etária e espacial de uma população natural de *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) na Amazônia Sul Ocidental. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 91-99, mar. 2014. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap09.pdf>.

**IBGE**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. 275 p. <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>.

ISIDORO, M. M.; SILVA, M. F. G. F.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; ARRUDA, A. C.; SILVA, S. C. Fitoquímica e quimiosistemática de *Euxylophora paraensis* (Rutaceae). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2119-2124, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012001100004>.

JOURNAL, A. G.; HIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

LOREGIAN, A. C.; SILVA, B. B.; ZANIN, E. M.; DECIAN, V. S.; HENKE-OLIVEIRA, C.; BUDKE, J. C. Padrões espaciais e ecológicos de espécies arbóreas refletem a estrutura em mosaicos de uma floresta subtropical. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 3, p. 593-606. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000300009>.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Estimação de volume de madeira de eucalipto por cokrigagem, krigagem e regressão. **CERNE**, v. 21, n. 2, p. 243-250, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521021532>.

PINHEIRO, K. A. O.; CARVALHO, J. O. P.; QUANZ, B.; FRANCEZ, L. M. DE B.; SCHWARTZ, G. Fitossociologia de uma área de preservação permanente no leste da Amazônia: indicação de espécies para recuperação de áreas alteradas. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v37i2.8648>.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M.; CARVALHO, J. O. P.; SOARES, M. H. M. Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, v.57, n.3, p.234-243, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1401>.

**SEMAS**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Instrução Normativa Nº 5, de 10 de setembro de 2015.

SILVA, A. G.; FARIAS, P. R. S.; BOIÇA JUNHOR, A. L.; CORREIA, R. G.; SILVA, J. B.; RODRIGUES, N. E. L. Análise espacial da mosca-negra-dos-citros em um pomar de citros utilizando a geoestatística. **Revista Agricultura**, v. 86, n. 2, p. 102-114, 2011.

SILVA, K. E.; SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 193-201, 2015. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap19.pdf>.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v. 67, p. 203-211, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000100025>.

VALTERA, M.; SAMONIL, P.; BOUBLÍK, K. Soil variability in naturally disturbed Norway spruce forest in the Carpathians: Bridging spatial scales. *Forest Ecology and Management*, v. 310, p. 134-146, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.004>.

VATRAZ, S.; CARVALHO, J. O. P.; GOMES, J. M.; TAFFAREL, M.; FERREIRA, J. E. R. Efeitos de tratamentos silviculturais sobre o crescimento de *Laetia procera* (Poepp.) Eichler em Paragominas, PA, Brasil. *Scientia Forestalis*, v.40, n.93, p.095-102, 2012. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr93/cap10.pdf>.

VATRAZ, S.; CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; CASTRO, T. C. Efeito da exploração de impacto reduzido na dinâmica do crescimento de uma floresta natural. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 109, p. 261-271, 2016. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr109/cap25.pdf>.

VIEIRA, D. S.; GAMA, J. R. V.; RIBEIRO, R. B. S.; XIMENES, L. C. Estrutura, distribuição espacial e volumetria de *Carapa guianensis* Aubl. na Floresta Nacional do Tapajós. *Nature and Conservation*, v.6, n.2, p.18-25, 2013. <http://dx.doi.org/10.6008%2FESS2318-2881.2013.002.0003>.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. In: *Conceitos básicos*. São Paulo, São Paulo: Oficina de textos, 2013. 24p.

ZHANG, H.; ZHUANG, S.; QIAN, H.; WANG, F.; HAIBAO, J. I. Spatial Variability of the Topsoil Organic Carbon in the Moso Bamboo Forests of Southern China in Association with Soil Properties. *Plos one*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0119175>.

## CAPÍTULO 2

### 3. INFLUÊNCIA DA ALTITUDE NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Euxylophora paraensis* (HUBER) EM UNIDADES DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

#### RESUMO

Objetivou-se verificar a influência da altitude na distribuição espacial de *E. paraensis* em diferentes unidades de manejo florestal no estado do Pará. O estudo foi realizado em quatro Unidades de Manejo Florestal (Caculé, Cauaxi, Sumal e Pacajá), de propriedade da Empresa CKBV Florestal LTDA, pertencente ao Grupo CIKEL. Para a análise da distribuição espacial das árvores utilizou-se a geoestatística, a partir da modelagem de semivariograma e confecção de mapas de krigagem. E todas as avaliações tiveram melhor ajuste ao modelo esférico, apresentando padrão de distribuição agregada nas UMFs estudadas, formando reboleiras de 590 a 5700 m (alcance do modelo). *Euxylophora paraensis* apresentou diferenças significativas, correlação positiva em relação ao volume das árvores e a altitude.

**Palavras-chave:** Distribuição Espacial, Pau Amarelo, Altitude, Manejo Florestal.

#### INFLUENCE OF ALTITUDE IN SPATIAL DISTRIBUTION OF *Euxylophora paraensis* IN FOREST MANAGEMENT UNITS IN THE EASTERN AMAZON

#### ABSTRACT

The objective of this study was to verify the influence of altitude on the spatial distribution of *E. paraensis* in different forest management units in the state of Pará. The study was carried out in four Forest Management Units (Caculé, Cauaxi, Sumal and Pacajá) CKBV Florestal LTDA, belonging to the CIKEL Group. For the analysis of the spatial distribution of the trees, geostatistics was used, from the semivariogram modeling and the creation of kriging maps. And all the evaluations had a better fit to the spherical model, presenting an aggregate distribution pattern in the FMUs studied, forming reefers from 590 to 5700 m (range of the model). *Euxylophora paraensis* presented significant differences, positive correlation in relation to tree volume and altitude.

**Key words:** Spatial Distribution, Yellow-wood-tree, Altitude, Forest Management

### 3.1 Introdução

As florestas tropicais são as comunidades com maior biodiversidade da Terra, e uma das razões para essa alta diversidade é o grande número de nichos variáveis pela complexa estrutura de seus ambientes (SCHEFFERS et al., 2018). Como consequência, a interação entre os gradientes ambientais, a ocorrência e distribuição de espécies florestais tem sido relativamente pouco explorada. Compreender a dinâmica espacial de espécies é uma alternativa que pode contribuir como resultado para os processos que envolvem o funcionamento dos ecossistemas (PRETZSCH, 2009), pois os aspectos espaciais desempenham papel crucial na população de espécies e na dinâmica da comunidade nas florestas (NATHAN & NE'EMAN, 2004).

Alguns estudos em ecologia vegetal têm usado a análise espacial para detectar padrões em comunidades vegetais e entender a distribuição dos indivíduos e sua relação com os fatores que influenciam a estruturação populacional (BERNASOL & LIMA-RIBEIRO, 2010). Esses fatores ambientais, tais como a altitude, pode influenciar na variação da diversidade de espécies e na estrutura de formações florestais e, tem sido amplamente demonstrada (GASTON, 2000; GRYTNES & BEAMAN 2006; GRYTNES et al., 2006; GUO et al., 2013; SANCHEZ et al., 2013; YAN et al., 2015).

No entanto, as diferenças de altitude, rugosidade ou inclinação não são levadas em consideração como variáveis preditoras na estrutura de modelagem da distribuição espacial de espécies florestais, e o valor ecológico dos resultados pode ser reduzido. Assim, as diferenças topográficas em florestas se mostram como uma variável importante na explicação da distribuição de espécies (KOSICKI et al., 2017).

Neste contexto encontra-se a espécie *Euxylophora paraensis* Huber (Rutaceae), conhecida popularmente como pau-amarelo devido à cor de sua madeira, a qual é de excelente qualidade, encontrando aplicação na confecção de diversos móveis. O gênero *Euxylophora* é monotípico, apresentando somente a espécie *E. paraensis* de ocorrência no norte do Brasil (ISIDORO et al., 2012). Suas árvores de grande porte constam na lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção desde 2008 (BRASIL, 2014). Devido a isto, torna-se essencial se conhecer as variações na diversidade e distribuição biológica e os fatores que podem influenciar a dispersão e precisam ser considerados ao adotar ações de conservação para garantir a proteção e a manutenção (REZENDE et al., 2015).

Entretanto, essas informações ainda são escassas para a maioria das espécies florestais na Amazônia Oriental, logo não existe registro na literatura sobre a distribuição espacial de *E. paraensis*. Com o alto índice de exploração, essa espécie sofreu uma grande redução populacional, ficando eventualmente pertinente aos danos da exploração mau manejada, devido à falta de conhecimento e a explorações subjetivas (ALMEIDA et al., 2003). Os danos causados às árvores e à regeneração natural, decorrentes da exploração florestal em uma determinada área, devem ser avaliados criteriosamente, pois têm influência direta no correto manejo da floresta (FRANCEZ et al., 2009). Logo, torna-se importante que o plano de manejo possa prever a intensidade com que os danos causados pela exploração irão ocorrer nas Unidades de Manejo Florestal (UMFs), garantindo assim sua sustentabilidade (PINTO et al., 2002).

Portanto, são necessárias ferramentas inovadoras para investigar a dinâmica espacial das espécies florestais para fornecer informações sobre suas coexistências (PELLISSARE et al., 2017). Por essa razão, a análise geoestatística se destaca como um conjunto de técnicas estatísticas para modelagem e mapeamento espacial de espécies florestais (AKHAVAN et al., 2010; FOX et al., 2007; NANOS et al., 2004; PALMER et al., 2010; PELLISSARI et al., 2014; PELLISSARI et al., 2017; SALES et al., 2007; SOUZA et al., 2015).

A técnica consisti em avaliar a correlação espacial entre características desejadas ajustando o semivariograma experimental. E por meio dos parâmetros do semivariograma (alcance, peitoril, efeito de pepita, etc.) e o interpolador geoestatístico (krigagem) é possível estimar e quantificar a presença da espécie nas unidades de manejo florestal (UMFs) em locais não amostrados usando o inventário florestal amostral, por exemplo, diminuindo custos no momento do planejamento (SOUZA et al., 2015).

Diante do exposto, considerando a hipótese de que a altitude apresenta dependência com a distribuição espacial de *Euxylophora paraensis*, este trabalho objetiva verificar a influência da altitude na distribuição espacial de *E. paraensis* em diferentes unidades de manejo florestal na Amazônia Oriental.

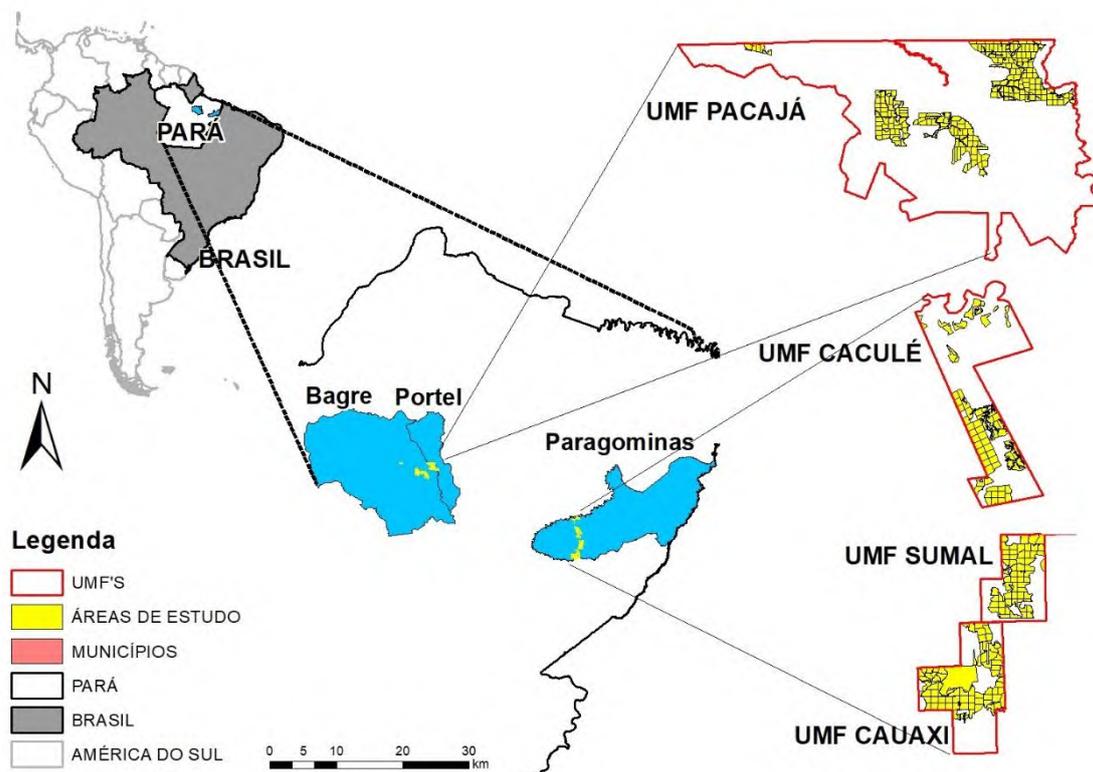
## **3.2 Material e métodos**

### *3.2.1 Área de estudo*

O estudo foi realizado em quatro Unidades de Manejo Florestal – UMF (Caculé, Cauaxi, Sumal e Pacajá) de propriedade da Empresa CKBV Florestal LTDA., pertencente ao Grupo CIKEL, localizada entre as coordenadas geográficas: 3° 30' e 2° 35'S e

48°45'W e 50° 12', nos municípios de Paragominas e Portel/Bagre no Pará, respectivamente (Figura 5). O clima dominante na região é do tipo “Aw”, segundo a classificação de Köppen (1948). A empresa possui seis unidades de manejo florestal no estado do Pará, totalizando uma área de 450.000 ha, entre estas unidades estão as fazendas do estudo.

**Figura 5** - Localização da área de estudo no estado do Pará.



**Fonte:** Autor, 2018.

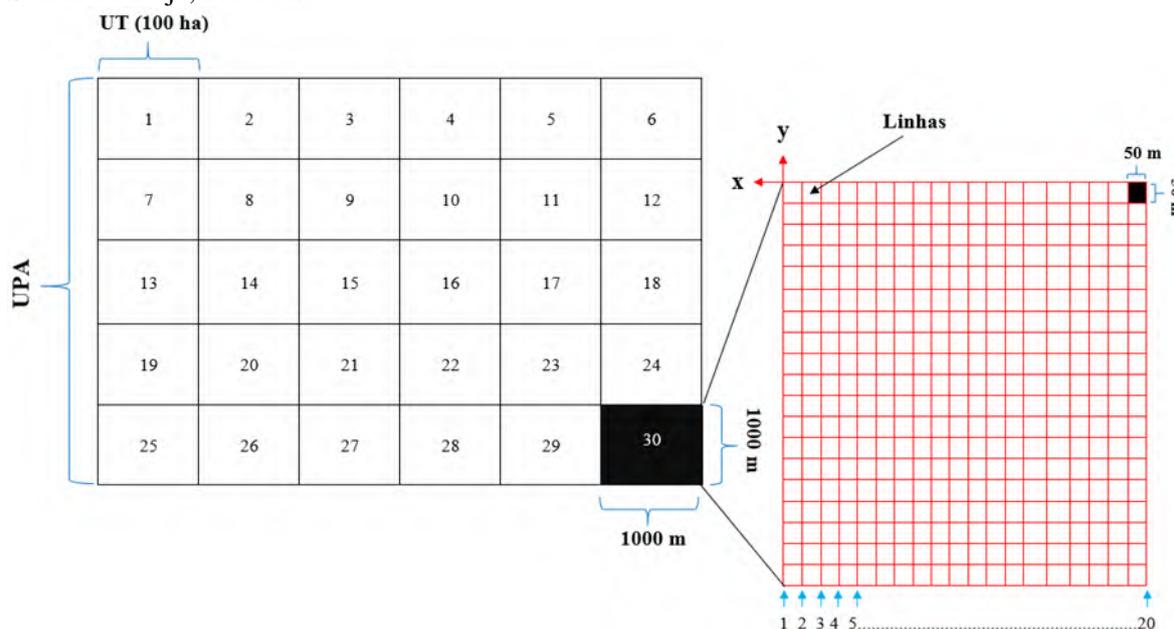
O relevo da área apresenta-se de forma plana a suavemente ondulada. Os solos que predominam na região onde as UMFs estão localizadas são os Latossolos Amarelos e os Argissolos Amarelos. A vegetação onde os estudos foram realizados caracteriza-se por Floresta Ombrófila Densa, também conhecida como Floresta Equatorial Úmida de Terra Firme (IBGE, 2012).

### 3.2.2 Inventário florestal e georreferenciamento das espécies

Foram utilizados um conjunto de dados de inventário florestal a 100% realizado no período de 2013 a 2018. Para facilitar a operacionalização em campo e cumprimento da legislação as unidades de manejo florestal são divididas em UPAs (Unidades de Produção Anual) e, posteriormente subdivididas em Unidades de Trabalho - UTs. Cada

UT foi dividida em 20 linhas com espaçamento de 50 m entre si, para orientar no caminhamento e localização das árvores na floresta durante o inventário florestal a 100% de intensidade (Figura 6). Em cada UT, foram registradas as coordenadas (x, y), diâmetro à altura do peito (DAP = diâmetro medido a 1,30m do solo)  $\geq 40$  cm, e altura em metros. Os indivíduos de *E. paraensis* foram devidamente plaqueados e georreferenciados.

**Figura 6** - Croqui de Unidade de Produção Anual (UPA), Unidades de Trabalho (UT) e linhas utilizadas no inventário florestal realizado a 100% de intensidade nas UMFS Caculé, Cauaxi, Sumal e Pacajá, PA-Brasil.



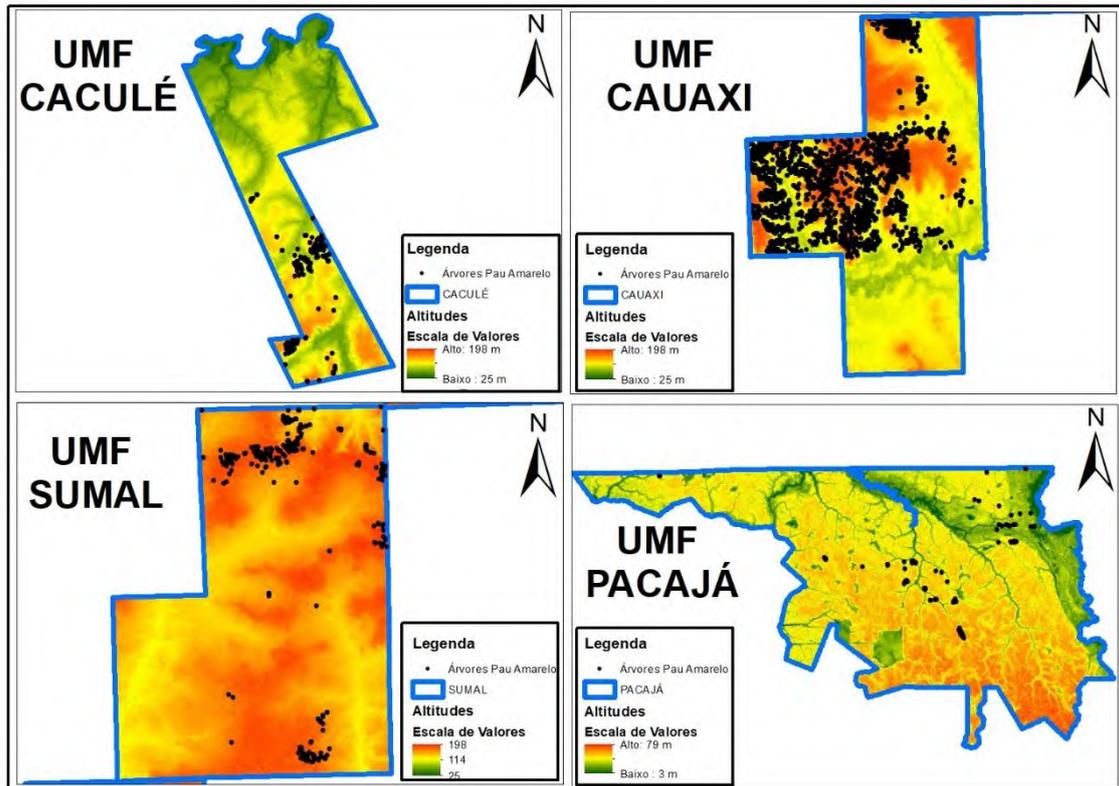
**Fonte:** Autor, 2018.

### 3.2.3 Determinação das altitudes nas unidades de manejo florestal

A variável topográfica altitude utilizada no estudo (Figura 7) foi gerada em ambiente SIG, a partir de dados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com 30 metros de resolução espacial. Esses dados fazem parte da missão de levantamento altimétrico por radar realizada no ano de 2000 pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA. A base são os dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão SRTM. Para cada área de 30 metros por 30 metros do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa. Esse gigantesco arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos digitais de elevação que permitem reconstituir o relevo do país de forma digital e homogênea (BISPO et al., 2014).

A disponibilidade de modelos digitais derivados de satélites, como os modelos de elevação SRTM, que está atualmente em produção, são recursos valiosos para o mapeamento de parâmetros estruturais de florestas tropicais. Estes mapas serão úteis para melhorar o monitoramento regional ou global da estrutura e biodiversidade de espécies no bioma Amazônia.

**Figura 7** - Mapa de localização da imagem radar mostrando a escala de altitude nas unidades de manejo florestal no estado do Pará-Brasil.



**Fonte:** Autor, 2018.

### 3.2.4 Análise geoestatística

Foi realizada a análise de distribuição espacial para o atributo volume das árvores pelo método apresentado por Camargo (2007) que por meio da geostatística, pode-se realizar a modelagem de semivariograma e confecção de mapas de krigagem. O volume das árvores da espécie *E. paraensis* foi considerado a variável regionalizada  $Z$ , que pode variar continuamente no espaço geográfico (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Desta forma, para cada amostra se obteve o valor da variável em estudo e a coordenada Universal Transversa de Mercator - UTM onde foi coletada. Se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no momento do ajuste dos dados ao modelo matemático, for baixo podemos considerar a baixa de dependência espacial.

O semivariograma é definido por três parâmetros: o patamar ( $C_0 + C_1$ ), o efeito pepita ( $C_0$ ) e o alcance ( $a$ ).

O alcance permite uma estimativa da distância na qual dois pontos estão correlacionados e, portanto, a distância mínima entre os pontos de amostragem que estão espacialmente dependentes (PELLISSARE et al., 2017). O patamar tem importância, pois limita a dependência espacial, ou seja, para Camargo (2007), deste ponto em diante não existe mais dependência espacial entre as amostras. O efeito pepita determina que para distância igual a zero ( $h=0$ ), o semivariograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, há uma variância não explicada ou ao acaso (VIEIRA, 2000) denominado de efeito pepita.

Foram definidos os parâmetros referentes aos semivariogramas elaborados: o patamar, a variância espacial, o efeito pepita e o alcance através da estimação segundo a equação a baixo (**Equação 4**).

A construção do semivariograma baseou-se conforme Vieira et al. (1983) pela equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ , separados por um vetor  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , é função da distância ( $h$ ), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

A partir daí, foram ajustados aos dados os modelos de semivariogramas teóricos. O modelo que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o escolhido (SOUZA et al., 2015).

Os dados foram ajustados pelo modelo esférico:

### 1. Modelo Esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, h \geq a. \quad (5)$$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita,  $C_0$ , e do patamar,  $C_1$ , depois se passando uma reta que intercepte o eixo y em  $C_0$  e seja tangente

aos primeiros pontos próximos de  $h=0$ . Essa tangente cruzará o patamar à distância,  $a'=2/3a$ . Assim, o alcance,  $a$ , será  $a=3a'/2$ .

Utilizando-se os parâmetros definidos no ajuste do semivariograma ( $C_0$  e  $C_1$ ) foi calculado o Índice de dependência espacial (IDE) para avaliar a quantidade de aleatoriedade que existe nos dados. Valores abaixo de 0,25 indicam que a distribuição é agregada, com uma forte relação entre amostras (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). O IDE determina quanto da variância espacial está presente na variância total da amostra, pela relação de  $(C_0/(C_0+C_1))$  (CAMBARDELLA et al., 1994). Os valores obtidos serão classificados em fraca dependência espacial se  $IDE >0,75$ , moderada dependência espacial se  $0,25 \leq IDE \leq 0,75$  e forte dependência espacial se  $IDE <0,25$ .

Os dados foram interpolados a área total das unidades de manejo florestal pelo método de interpolação geoestatística krigagem que utiliza o semivariograma para quantificar a variabilidade espacial das regiões e realizar a interpolação espacial (WANG et al., 2009). A krigagem ordinária é um dos métodos de interpolação mais utilizados para mapear as distribuições espaciais de floresta (ANJOS et al., 2004; SCOLFORO et al., 2015; PELISSARE et al., 2017) por meio de parâmetros dos semivariogramas ajustados foram criados os mapas de distribuição espacial da espécie, conforme a Equação 4. Esses mapas representam melhor visualmente a distribuição espacial das árvores nas UMFs de estudo.

$$= \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i). \quad (6)$$

Em que  $N$  é o número de vizinhos medidos,  $Z(x_i)$ , utilizados na estimativa da propriedade e  $\lambda_i$  são os ponderadores aplicados a cada  $Z(x_i)$ , que são selecionados de modo que a estimativa não seja tendenciosa.

Para elaboração e ajustes dos semivariogramas e também a confecção dos mapas de krigagem utilizou-se o software Surfer 11.0 para Windows pela facilidade de utilização, formatação e elaboração gráfica.

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Parâmetros populacionais

Foram inventariados 41.672 ha nas quatro unidades de manejo florestal da empresa CKBV Florestal LTDA, estando 20.245 ha na UMF Pacajá por estar em outro município das demais. Encontrou-se o total de 3.268 indivíduos de *E. paraensis* com  $DAP \geq 40$  cm,

distribuídos nas quatro UMFs. O DAP médio por UMF variou de 63,03 a 70,54 cm de acordo com apresentado na Tabela 3.

Foi observado nas UMFs Caculé, Cauaxi e Sumal, que a densidade de *E. paraensis* está acima do limite mínimo exigido pela legislação para manutenção da espécie em unidades de manejo florestal, o que equivale a 4, 28 e 5 árvores da espécie em 100 ha, respectivamente. A menor densidade ocorreu na UMF Pacajá com 0,01 ind. ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 1 árvore da espécie em 100 ha. Esses resultados demonstram que, de acordo com a Instrução Normativa N° 01 de 12 de fevereiro de 2015, a espécie apresenta potencial para extração madeireira nas UMFs Caculé, Cauaxi e Sumal estudadas.

As UMFs exibiram valores de altitudes variando de 28 a 194 m, em que a média é apresentada na Tabela 3. As médias das UMFs Caculé e Sumal foram semelhantes em valores de altitude. A UMF Cauaxi apresentou maior número de indivíduos e maior volumetria por unidade de área de *E. paraenses*. Diferentemente a UMF Pacajá apresentou altitude média menor comparado as outras e igual a 50 m, além disso, menor número de indivíduos e, conseqüentemente volumetria baixa por unidade de área. As UMFs Caculé e Sumal exibiram resultados semelhantes quanto a densidade e volume por hectare (Tabela 3).

**Tabela 3** - Parâmetros populacionais de *E. paraenses* e altitude média em unidades de manejo florestal, no estado do Pará - Brasil.

UMF	Área (ha)	N° ind. (DAP ≥ 40 cm)	Densidade total (ind.ha <sup>-1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	DAP médio (cm)	Altitude média (m)
Caculé	6.054	271	0,04	0,11	64,61	127
Cauaxi	9.364	2.581	0,28	0,64	63,08	141
Sumal	6.009	292	0,05	0,12	63,03	175
Pacajá	20.245	124	0,01	0,02	70,54	50

Fonte: Autor, 2018.

De acordo com a Portaria do Ministério do Meio Ambiente N° 443, de 17 de dezembro de 2014 (BRASIL, 2014), *E. paraensis* é uma espécie ameaçada de extinção, criticamente em perigo – CR e, portanto, tem o seu corte proibido. Entretanto, os resultados do presente estudo demonstram que é possível explorar *E. paraensis* em três (Caculé, Cauaxi e Sumal) das quatro UMFs estudadas, de acordo os mecanismos de sustentabilidade e conservação da espécie na área de estudo.

### 3.3.2 Análise estatística

**Tabela 4** - Coeficiente de correlação linear de Pearson (r), entre os valores de altitude e os valores volumes das árvores de *Euxylophora paraensis* em quatro unidades de manejo florestal no Pará - Brasil.

Correlação	Coeficiente de Correlação ( r )
Altitude X VA (m <sup>3</sup> ) UMFs	0,74*

VA = Volume das árvores ocorrentes de *Euxylophora paraensis*, \*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ).

**Fonte:** Autor, 2018.

Pode-se observar na **Tabela 4** de correlação de valores de altitude com os volumes das árvores de *E. paraensis*, que a altitude influenciou na ocorrência da espécie nas UMFs estudadas, pois esta apresentou valor de correlação positiva (0,74) moderada, mostrando que os maiores valores de altitude se encontrou também maiores ocorrências de *E. paraensis* e, conseqüentemente maiores volumes nesses locais. Resultados semelhantes foram encontrados por Bispo et al. (2016) na floresta nacional do Tapajós para a altitude, pois pode-se considerar a variável com maior capacidade preditiva de vegetação, uma vez que sua variação foi altamente semelhante com a variação espacial das estimativas de vegetação da área estudada. Portanto, a altitude pode ser considerada uma variável preditora de variações espaciais da estrutura de espécies em unidades de manejo.

### 3.3.3 Análise geoestatística

Ocorreu dependência espacial nos volumes das árvores de *E. paraensis* descrita pelo modelo esférico em todas as UMFs, evidenciando o padrão de distribuição agregado da espécie, com um raio de agregação variando de 590 a 5700 m (alcance do modelo) nas quatro UMFs estudadas (Tabela 5). Portanto, a dependência espacial foi observada utilizando os gradientes de variáveis selecionados, pois as semivariâncias aumentaram e, posteriormente, tenderam a se estabilizar (AKHAVAN et al., 2010; ROVEDA et al., 2016). Em um estudo realizado no Paraná por Anjos et al. (2004) no qual verificaram a distribuição espacial da espécie florestal araucária encontraram resultados semelhantes para essa espécie com dependência espacial e distribuição agregada.

O alcance ou raio de agregação representa a agregação das árvores nas UMFs. Logo, esses valores são muito importantes, pois possibilitam analisar a dispersão dessa espécie para o desenvolvimento de planos conservação, visto que está ameaçada de extinção. Pois através do alcance calcula-se a área de influência ou dispersão máxima da

espécie *E. paraensis* nas unidades que no presente estudo variou de 1.093,03 (UMF Caculé) a 102.018,60 km<sup>2</sup> (UMF Pacajá), conforme a Tabela 5 abaixo:

**Tabela 5** - Parâmetros dos semivariogramas da distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* em quatro unidades de manejo florestal no Pará - Brasil.

UMF	*Parâmetros				Modelo	R <sup>2</sup>	K <sup>a</sup>	Grau de Dependência
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (m)	A (km <sup>2</sup> )				
Caculé	0,30	2,91	590	1.093,03	Esférico	0,97	0,09	Forte
Cauaxi	1,35	0,65	2.100	13.847,40	Esférico	0,92	0,67	Moderado
Sumal	2,50	1,68	1.070	3.594,99	Esférico	0,90	0,49	Moderado
Pacajá	3,15	1,00	5.700	102.018,60	Esférico	0,89	0,75	Fraca

Efeito pepita (C<sub>0</sub>), variância espacial ou contribuição (C<sub>1</sub>), alcance (a), <sup>a</sup> razão de C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>).

**Fonte:** Autor, 2018.

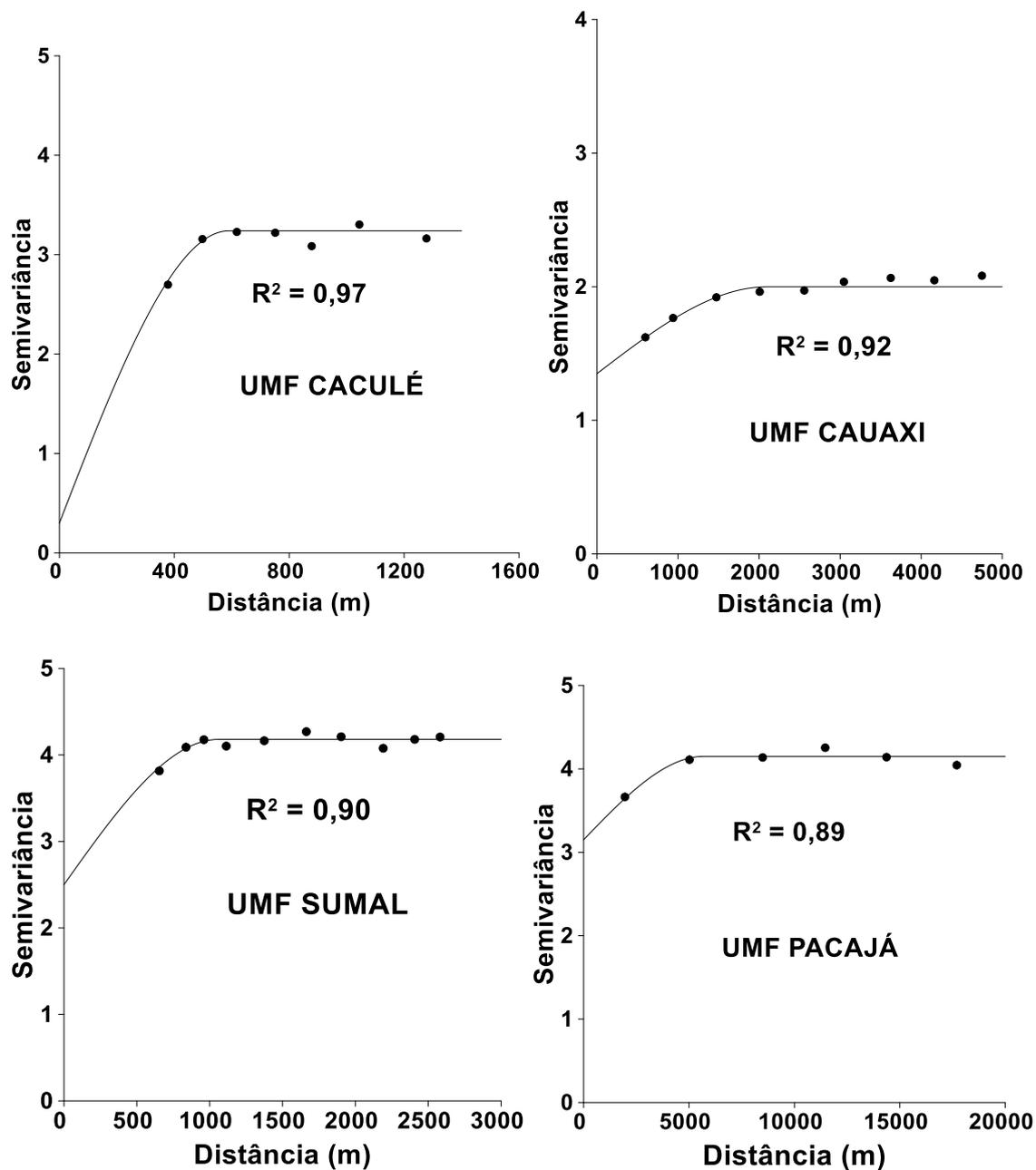
Outro parâmetro importante a ser considerado, obtido por meio do semivariograma é o índice de dependência espacial k (Tabela 5), estimado pela relação  $C_0/(C_1+C_0)$ , segundo classificação proposta por Journel & Hijbregts (1978) que indica o tipo e a forma de distribuição de *E. paraensis* nas UMFs. Os resultados obtidos no estudo variaram de 0,09 a 0,75 (Tabela 5), apresentando dependência espacial forte, moderada e fraca, evidenciando que a distribuição espacial é de extrema importância quando se deseja estudar essa espécie e a mesma não pode ser desconsiderada em estudos de dinâmica populacional da espécie.

Na UMF Pacajá o grau de dependência classificado fraco, pode ser explicado pela ocorrência de poucas árvores de *E. paraensis* em relação ao total de área que foi inventariada, podendo ter reduzido a agregação, pois as poucas árvores estavam distantes. Evidenciando que 25% da dependência espacial é explicada pela variável estudada. E as demais UMFs classificadas como forte e moderada agregação. Esse resultado concorda com exposto por Feeley & Silman (2011) que para melhorar os resultados da modelagem de distribuição de espécies, é necessária que estes estejam bem distribuídos no espaço geográfico.

Na Figura 8 são apresentados os semivariogramas da distribuição espacial de *E. paraensis* nas quatro UMFs. Observa-se que a variável de estudo (volumes das árvores variou de 0 a 5 m<sup>3</sup>). Considerando o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) que indica a qualidade e confiabilidade do ajuste ao modelo matemático do semivariograma, o

presente trabalho exibiu amplitude de 0,89 a 0,97, valores próximos de 1, indica bom ajuste dos dados ao modelo.

**Figura 8** - Semivariogramas e mapas de krigagem da distribuição espacial de *Euxylophora paraensis* em quatro unidades de manejo florestal no Pará - Brasil.



Fonte: Autor, 2018.

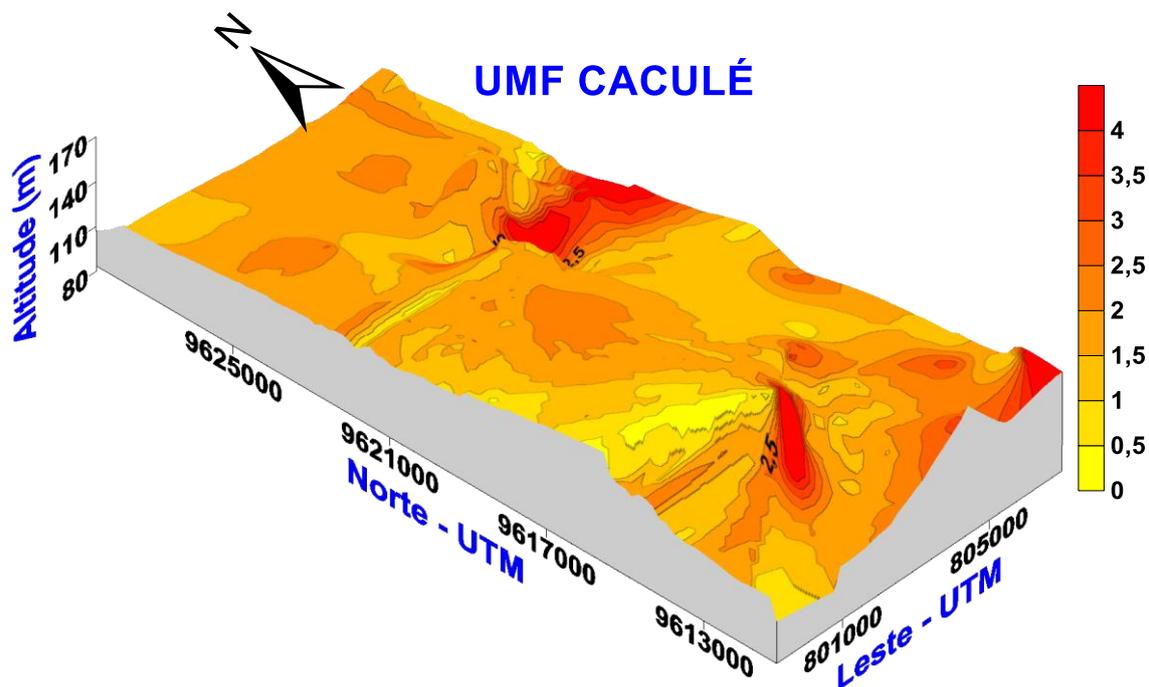
Por meio dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas, foram elaborados os mapas de krigagem, que permitiram visualizar o comportamento da distribuição espacial das árvores nas UMFs, de acordo com os volumes e suas respectivas altitudes. Nota-se

nos mapas a distribuição agregada de *E. paraensis*, sendo possível visualizar a formação de manchas e a dispersão da espécie (Figuras 9, 10 e 11, 12). Segundo Newbery et al. (1986) investigando os padrões de distribuição espacial, usando análise espectral, de 64 espécies arbóreas da Floresta tropical em Sarawak- Malásia, encontraram 46,8% das espécies formando manchas (padrão agregado) na vegetação. Esses resultados são discutidos pelos autores, como uma importante relação entre a topografia do terreno e distribuição espacial de espécies em florestas naturais. Neste trabalho verificou-se que na UMF Cauaxi o número de indivíduos foi maior correspondendo a maior altitude estudada.

Observa-se nos mapas de krigagem a tendência de dispersão de *E. paraensis* nas áreas estudadas, de uma região de maior concentração de árvores e influenciada por altitudes mais elevadas para outra de menor concentração com altitudes baixas. É possível visualizar nos mapas que a espécie ocorre em ambientes com maior variação de altitude. Isso ficou bem visível, principalmente nas UMFs Caculé, Cauaxi e Pacajá, confirmando que a distribuição agregada e variações de altitudes são padrões comportamentais dessa espécie, caracterizada pela maior densidade de volumes em determinados locais nas UMFs. Resultados semelhantes foram verificados por Webb et al. (1999) que analisaram os efeitos diretos da topografia na estrutura de uma floresta na área da Samoa Americana e observaram maior densidade de árvores e de grande diâmetro em altitudes mais elevadas.

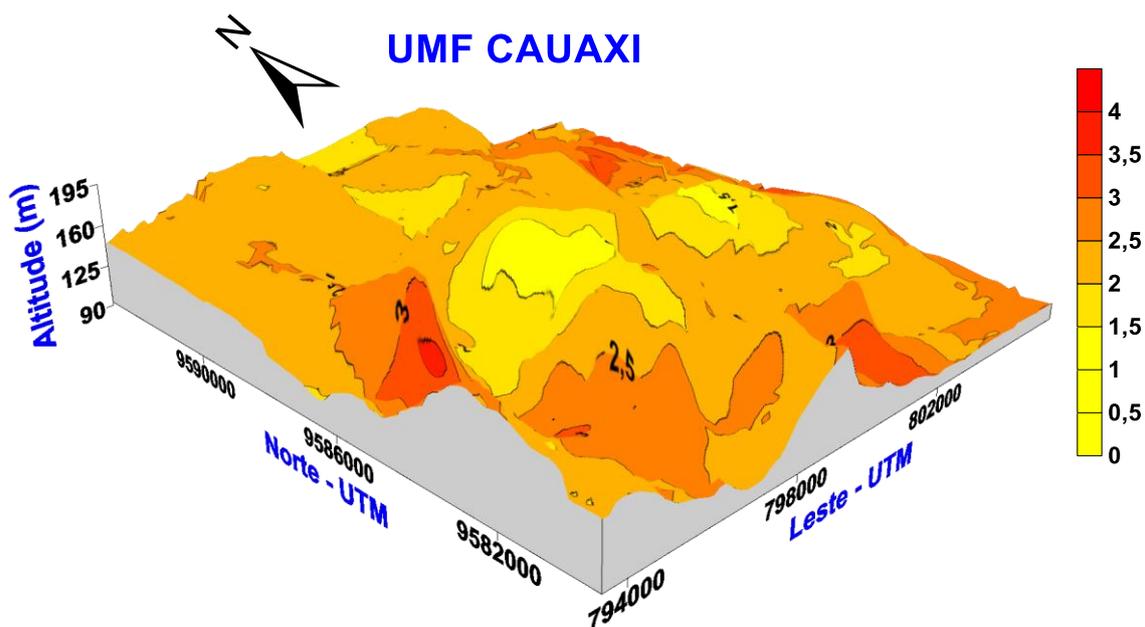
Para Figueiredo et al. (2015) que analisaram a distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas concluíram que a altitude foi uma das variáveis preditoras mais importantes nos modelos, para todas as espécies. Além disso, as medidas de dispersão dos dados de ocorrência indicam que em relação às demais espécies, *Clarisia racemosa* ocorre em ambientes com maior variação de altitude, enquanto *Hura crepitans* e *Ceiba pentandra* ocupam as cotas mais baixas do terreno, mais próximo aos cursos d'água.

**Figura 9** - Mapa de krigagem da distribuição espacial de volume de indivíduos *Euxylophora paraensis* e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Caculé no estado do Pará - Brasil.



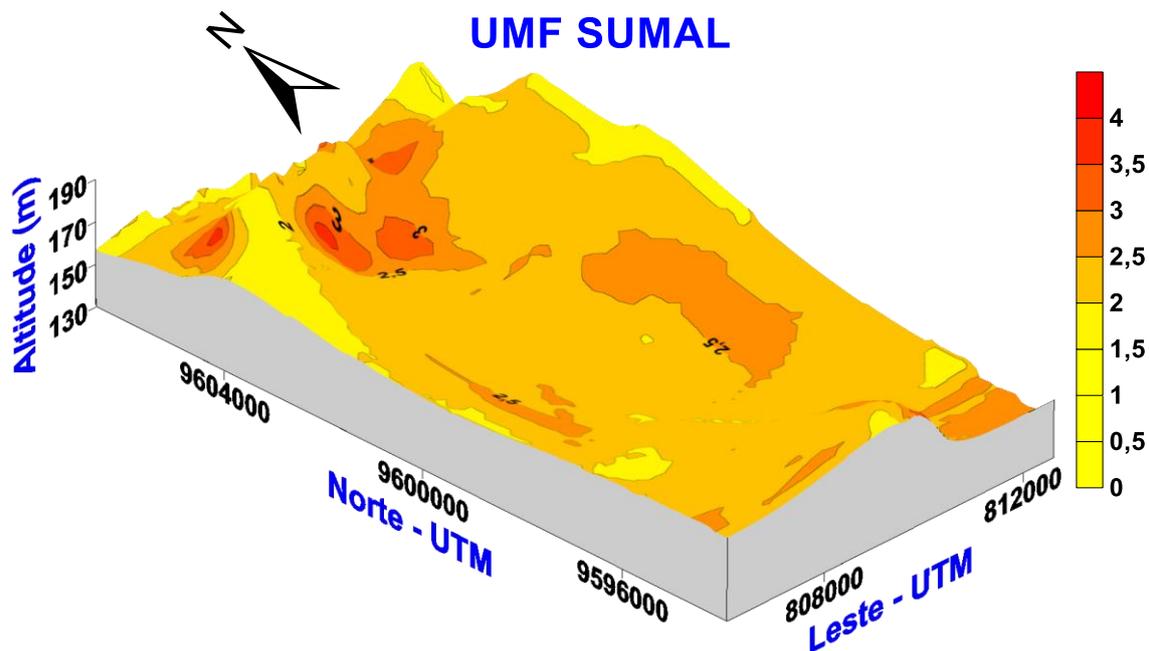
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 10** - Mapa de krigagem da distribuição espacial de volume de indivíduos *Euxylophora paraensis* e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Cauaxi no estado do Pará - Brasil.



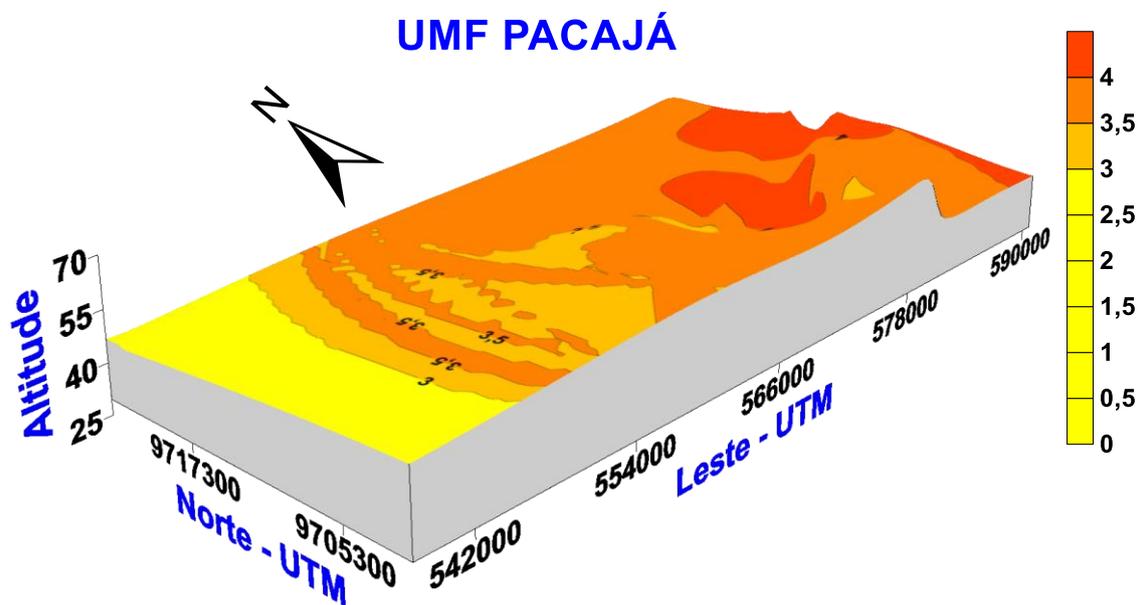
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 11** - Mapa de krigagem da distribuição espacial de volume de indivíduos *Euxylophora paraensis* e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Sumal no estado do Pará - Brasil.



Fonte: Autor, 2018.

**Figura 12** - Mapa de krigagem da distribuição espacial de volume de indivíduos *Euxylophora paraensis* e altimetria (3D) na Unidade de Manejo Florestal Pacajá no estado do Pará - Brasil.



Fonte: Autor, 2018.

### 3.4 Conclusão

*Euxylophora paraensis* apresentou padrão de distribuição agregada nas UMFs estudadas, com dependência espacial descrita pelo modelo esférico, formando reboleiras de 590 a 5700 m (alcance do modelo). Essa característica ecológica deve ser considerada nas tomadas de decisão sobre o manejo e conservação da espécie.

*Euxylophora paraensis* apresentou diferenças significativas, em relação a variável topográfica, sendo recomendado levar em consideração a variável altitude para se predizer os ambientes mais adequados de possível ocorrência da espécie, podendo dessa forma auxiliar a compreensão das suas preferências de habitat.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, A.; MAZZA, M.C.M.; SANTOS A.C.M. & DELFINI, L.T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 38-45, 2004.

AKHAVAN, R.; AMIRI, Z.; ZOBEIRI, M. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. **Caspian Journal of Environmental Science**, v. 8, n. 1, p. 43–53, 2010. <http://cjes.guilan.ac.ir/article/1039.html> (Accessed 27 July 2017).

BERNASOL, W. P.; LIMA-RIBEIRO, M. S. Estrutura espacial e diamétrica de espécies arbóreas e seus condicionantes em um fragmento de cerrado sentido restrito no sudoeste goiano. **Hoehnea**, v. 37, n. 2, p. 181-198, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062010000200001>>.

BISPO, P.C.; SANTOS, J.R.; VALERIANO, M.M.; TOUZI, R.; SEIFERT, F.M. Integration of Polarimetric PALSAR Attributes and Local Geomorphometric Variables Derived from SRTM for Forest Biomass Modeling in Central Amazonia. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 40, p. 26-42, 2014.

BISPO, P. DA C.; SANTOS, J. R. DOS; VALERIANO, M. DE M.; GRAÇA, P. M. L. DE A.; BALZTER, H.; FRANÇA, H.; BISPO, P. DA C. Predictive Models of Primary Tropical Forest Structure from Geomorphometric Variables Based on SRTM in the Tapajós Region, Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, 2016. DOI:10.1371/journal.pone.0152009 .

BRASIL. Portaria MMA N° 443, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União. 2014.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. In: Geoprocessamento em projetos ambientais. 2007, p. 1-36. Disponível em:[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf). Acesso em: 08 ago. 2012.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>>.

DINIZ, R.A.V. **A aplicação da metodologia geoestatística para a classificação geomecânica de uma camada da “hangwall” na mina São Bento – MG**. 1997. 154p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares de cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FEELEY, K.J.; SILMAN, M.R. Keep collecting: accurate species distribution modelling requires more collections than previously thought. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 1132-1140, 2011.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; VENTICINQUE, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E. J. L. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 2, p. 167 – 174, 2015.

FOX, J.C.; BIC, H.; ADES, P.K. Spatial dependence and individual-tree growth models. **Forest Ecology Manage**, v. 245, p. 10–19, 2007.

FRANCEZ, L. M. de B.; CARVALHO, J. O. P. de.; JARDIM, F. C. da S.; QUANZ, B.; PINHEIRO, K. A. O. Efeito de duas intensidades de colheita de madeira na estrutura de uma floresta natural na região de Paragominas, Pará. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 851 – 864, 2009.

GASTON K. J. 2000 **Global patterns in biodiversity**. **Nature**, v. 405, p. 220–227. (doi:10.1038/35012228).

GRYTNES, J.A; BEAMAN, J.H. Elevational taxa richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo. **Journal Biogeografic**, v. 33, p.1838–1849, 2006. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01554.x

GRYTNES, J.A.; HEEGAARD, E.; IHLEN, P.G. Taxa richness of vascular plants, bryophytes, and lichens along na altitudinal gradient in western Norway. **Acta Oecologica**, v. 29, p. 241–246, 2006. doi:10.1016/j.actao.2005.10.007 .

GUO, L.; DU, S.; HAINING, R.; ZHANG, L. Global and local indicators of spatial association between points and polygons: a study of land use change. **Observation Geoinformatic**, v. 21, p. 384–396, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.11.003>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Sinopse preliminar do censo demográfico 2012. IBGE, Rio de Janeiro. 74pp.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

ISIDORO, M. M.; SILVA, M. F. G. F.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; ARRUDA, A. C.; SILVA, S. C. Fitoquímica e quimiosistemática de *Euxylophora paraensis* (Rutaceae). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2119-2124, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012001100004>.

JARDIM, F.C.S.; HOSOKAWA, R.T. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. **Acta Amazonica**, v. 16, p. 411 – 508, 1986.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. New York: Academic Press, 1978.

KOSICK, J. Z. Should topographic metrics be considered when predicting species density of birds on a large geographical scale? A case of Random Forest approach. **Ecological Modelling**, v. 349, p. 76–85, 2017.

MACHADO, S. A. FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: UFPR, 2003. 308 p.

NANOS, N.; CALAMA, R.; MONTERO, G.; GIL, L. Geostatistical prediction of height/diameter models. **Forest Ecology Manage**, v. 195, p. 221–235, 2004.

NATHAN, R.; NE'EMAN, G. Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). **Plant Ecology**, v. 171, p. 123–137, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029379.32705.0f>.

NEWBERY, D. M. C.; RENSHAW, E.; BRUNIG, E.F. Spatial pattern of trees in Kerangas forest, Sarawak. **Vegetatio**, v.65, p. 77-89, 1986.

PALMER, D.J.; WATT, M.S.; KIMBERLEY, M.O.; HÖCK, B.K.; PAYN, T.W.; LOWE, D.J. Mapping and explaining the productivity of *Pinus radiata* in New Zealand. N. Z.J. **Forest Sci**, v. 55, p. 15–21, 2010.

PELISSARI, A.L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.A.; CALDEIRA, S.F. Geostatistical modeling of site index classes in teak stands. **SOP Transactions on Statistics and Analysis** v. 1, p. 74–85, 2014.

PELISSARI, A. L.; FILHO, A. F.; PÉLLICO NETTO, S.; EBLING, A. A.; ROVEDA, M.; SANQUETTA, C. R. Geostatistical modeling applied to spatiotemporal dynamics of successional tree species groups in a natural Mixed Tropical Forest. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 1–7, 2017.

PINTO, A. C. M.; SOUZA, A. L. DE; SOUZA, A. P. DE; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; VALE, A. B. DO. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 26, p. 459 – 466, 2002.

PRETZSCH, H. 2009. **Forest Dynamics, Growth and Yield. From measurement to model**. Springer Verlag, Berlin, pp. 664.

REZENDE, V. L.; MIRANDA, P. L. S. DE; MEYER, MOREIRA, L.; C. V.; LINHARES, M. F. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. DE; EISENLOHR, P. V. Tree species composition and richness along altitudinal gradients as a tool for conservation decisions: the case of Atlantic semideciduous forest. **Biodiversity Conservation**, v. 24, p. 2149-2163, 2015.

ROVEDA, M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PELISSARI, A.L.; SANTOS, R.M.M. Spatial continuity in a Mixed Ombrophilous Forest with different size and shape of sample units. **Cerne**, v. 22, n. 2, p. 189–196, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622022139>.

SALES, M.H.; SOUZA JR. C.M.; KYRIAKIDIS, P.C.; ROBERTS, D.A.; VIDAL, E. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: a casestudy for Rondonia. Braz. **Ecology Modeling**, v. 205, p. 221–230, 2007.

SANCHEZ, M; PEDRONI, F; EISENLOHR, P.V.; OLIVEIRA-FILHO A.T. 2013. Changes in tree community composition and structure of Atlantic rain forest on a slope of the Serra do Mar range, southeastern Brazil, from near sea level to 1000 m of altitude. *Flora*. doi:10.1016/j.flora.2013.03.002.

SCHEFFERS, B. R.; PHILLIPS, B. L.; LAURANCE, W. F.; SODHI, N. S.; DIEMOS, A.; WILLIAMS, S. E. 2018. Increasing arboreality with altitude: a novel biogeographic dimension.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. O. **Manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 2008. 195 p.

SCOLFORO, H. F.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; FERRAZ FILHO, A. C. Spatial distribution of above ground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of savanna, atlantic forest and semi arid wood land. **PLOS ONE**, v. 1, p. 1-20, 2015. DOI:10.1371/journal.pone.0128781.

SOUZA, R. M. S.; ALMEIDA, A. Q. DE; RIBEIRO, A.; SOUZA, E. S. DE; LEITE, F. P. Evaluation of the spatial dependence of dendrometric characteristics for an Eucalyptus plantation. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 4, p. 483-488, 2015. Doi: 10.4025/actasciagron.v37i4.19676.

VIEIRA, S. R; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 3, p. 1- 75, 1983.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 1-54p.

YAN, W.; MAMOODB, Q.; PENG, D.; FUA, W.; CHENG, T.; WANG, Y.; LIA, S.; CHEN, J.; LIU, D. The spatial distribution pattern of heavy metal risk assessment of moso bamboo forest soil around lead–zinc mine in South eastern China. **Soil & Tillage Research**, v. 153, p. 120–130, 2015.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. In: Conceitos básicos. São Paulo, São Paulo: Oficina de textos, 2013. 24p.

WANG, Y.; ZHANG, X.; HUANG, C. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau. **Geoderma**, v. 150, p. 141–149, 2009.

WEBB, E.L.; STANFIELD, B.J.; JENSEN, M.L. Effects of topography on rainforest tree community structure and diversity in American Samoa, and implications for frugivore and nectarivore populations. **Journal of Biogeography**, v. 26, n.4, p. 887–897, 1999.

## CONCLUSÕES GERAIS

A distribuição espacial da espécie *Euxylophora paraensis* apresenta padrão agregado, com dependência espacial descrita pelo modelo esférico nas florestas estudadas. Essa agregação pode ser explicada por características da própria espécie, como por exemplo, devido à sua síndrome de dispersão de sementes barocórica ou por variáveis topográficas (altitude). É fundamental considerar essas características na distribuição espacial da espécie para estudos de ecologia e conservação em florestas de terra firme manejadas.

*Euxylophora paraensis* apresentou densidade no estoque de colheita ( $DAP \geq 50$  cm) abaixo de  $1 \text{ ind. ha}^{-1}$  porém, a espécie tem presença de árvores em todas classes diamétricas no estoque de crescimento, sendo desta forma, recomendado uma avaliação econômica para a tomada de decisão em manejar a espécie no futuro.