

# ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM CONSÓRCIO AGROFLORESTAL CUPUAÇUZEIRO, PUPUNHEIRA E BACABEIRA

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 13ª edição, de 26/08/2024 a 30/08/2024  
ISBN dos Anais: 978-65-5465-112-7

**OLIVEIRA; Tadário Kamel de Oliveira**<sup>1</sup>, **SILVA; Déborah Verçoza da**<sup>2</sup>, **RIMERIO; Daniela Popim Miqueloni**<sup>3</sup>, **BARDALES; Nilson Gomes**<sup>4</sup>, **AMARAL; Eufra Ferreira do**<sup>5</sup>

## RESUMO

### ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS NA AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO EM CONSÓRCIO AGROFLORESTAL CUPUAÇUZEIRO, PUPUNHEIRA E BACABEIRA

**Tadário Kamel de Oliveira** (Pesquisador. Embrapa Acre)-[tadario.oliveira@embrapa.br](mailto:tadario.oliveira@embrapa.br)

**Déborah Verçoza da Silva** (Coordenadora de projetos.FUNTAC)-[deborah.vercoza@gmail.com](mailto:deborah.vercoza@gmail.com)

**Daniela Popim Miqueloni Rimerio** (Dra. Produção Vegetal)-[danimique@yahoo.com.br](mailto:danimique@yahoo.com.br)

**Nilson Gomes Bardales** (Bolsista. Projeto BID Embapa)-[nilsonbardales@gmail.com](mailto:nilsonbardales@gmail.com)

**Eufra Ferreira do Amaral** (Pesquisador. Embrapa Acre)-[eufra.amaral@embrapa.br](mailto:eufra.amaral@embrapa.br)

**RESUMO:** Em sistemas agroflorestais (SAFs) os diversos tipos de interações entre os componentes e também com o solo são importantes fatores para o sucesso do consórcio. As modificações promovidas pelas espécies vegetais podem determinar a variabilidade nos atributos do solo, característica natural observada em maior ou menor intensidade. Este trabalho objetivou avaliar, por meio dos parâmetros de análises geoestatísticas, a dependência espacial e variabilidade dos teores de fósforo (P) no solo em um SAF com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira. O estudo foi conduzido em área de produtor localizada no ramal Baixa Verde (distrito de Nova Califórnia, Porto Velho-RO) em um consórcio agroflorestal de 11 anos de idade com duas partes distintas: (S1) com as espécies cupuaçuzeiro e pupunheira, e a segunda parte (S2) que possuía também a bacabeira. As amostras de solo foram coletadas em malha regular de 10 m x 3 m. Para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar mapas de isolinhas, foi empregada análise geoestatística. A análise de dependência espacial do P apresenta grau moderado, com o modelo exponencial de ajuste do semivariograma. Os parâmetros do semivariograma indicam que a amostragem utilizada para avaliação do P em consórcios agroflorestais foi adequada, com alcance 9,8 m, ou seja, abrange a malha amostral adotada. Na área com pupunheira e cupuaçuzeiro os valores de P são superiores ao sistema que inclui a bacabeira como componente adicional.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema agroflorestal; fertilidade do solo; *Theobroma grandiflorum*; *Bactris gasipaes*; *Oenocarpus mapora*.

## INTRODUÇÃO

Existe uma grande variedade de sistemas agroflorestais (SAFs), os quais diferem quanto aos seus arranjos estruturais, composição florística, papel funcional dos componentes e aspectos ecológicos, manejo do sistema, objetivos da produção e características socioeconômicas (MARTINS; RANIERI, 2014), sendo planejados e definidos conforme as necessidades e aptidões de cada produtor e região.

Nos sistemas agroflorestais, associado à diversidade de espécies está a natural heterogeneidade dos solos, que pode ser alterada conforme o tipo de uso da terra, sistemas agrícolas e práticas de manejo. A variabilidade intrínseca tem sido associada à variação natural dos atributos dos solos, enquanto a variabilidade extrínseca significa variações impostas pelas práticas de produção e culturas (FERREIRO et al., 2016).

As avaliações de acordo com a distribuição no espaço são realizadas por meio da geoestatística, a qual possibilita a determinação da variabilidade de variáveis que apresentem dependência espacial (VIEIRA, 2000). De acordo com Nogueira et al. (2008), a geoestatística possibilita uma caracterização mais detalhada dos atributos do solo, pois permite uma descrição quantitativa da variabilidade espacial dos mesmos, por meio de uma estimativa não tendenciosa e uma variância mínima para aqueles valores não amostrados.

<sup>1</sup> Embrapa Acre, [tadario.oliveira@embrapa.br](mailto:tadario.oliveira@embrapa.br)

<sup>2</sup> Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, [deborah.vercoza@gmail.com](mailto:deborah.vercoza@gmail.com)

<sup>3</sup> Empresa, [danimique@yahoo.com.br](mailto:danimique@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Projeto BID Embrapa, [nilsonbardales@gmail.com](mailto:nilsonbardales@gmail.com)

<sup>5</sup> Embrapa Acre, [eufra.amaral@embrapa.br](mailto:eufra.amaral@embrapa.br)

Em SAFs ocorre grande diversidade de espécies que interagem entre si de acordo com sua espacialidade no sistema. Tais interações somadas a variabilidade espacial intrínseca dos solos (CAMBARDELLA et al., 1994), demonstram a necessidade de uma metodologia de avaliação específica capaz de complementar ou substituir os métodos estatísticos convencionais, que possibilitem informações mais precisas e com maior relação benefício/custo (AMARAL et al., 2018). Objetivou-se com este trabalho avaliar por meio dos parâmetros de análises geoestatísticas a dependência espacial e variabilidade do teor de fósforo no solo em um consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área de produtor associado ao Projeto RECA (Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado) localizada entre as coordenadas 09° 52' 22,5" S e 66° 36' 37,3" W, no ramal Baixa Verde, no distrito de Nova Califórnia, Porto Velho (RO). O clima da região é o equatorial quente e úmido (Aw), segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 2.250 mm e temperatura média anual de 25,5°C (INMET, 2024).

O consórcio foi implantado em 2006, tendo 11 anos de idade no momento das avaliações. O estudo foi realizado em um consórcio agroflorestal que apresentava duas partes distintas. A primeira (S1) com as espécies cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e pupunheira (*Bactris gasipaes*), e a segunda (S2), que possuía também a bacabeira (*Oenocarpus mapora*). O espaçamento utilizado e número de plantas por hectare foram: cupuaçuzeiro 6 m x 5 m, com 333 plantas ha<sup>-1</sup>; pupunheira 12 m x 12 m, com 69 plantas ha<sup>-1</sup>; bacabeira 12 m x 12 m, com 69 plantas ha<sup>-1</sup>. Para avaliação da variabilidade espacial do P no solo a amostragem foi realizada utilizando-se uma malha regular de 3 m x 10 m. Em cada ponto foi coletada uma amostra de solo na profundidade de 0 a 20 cm, totalizando 160 amostras. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com aparelho de GPS Garmin 76CSx.

Inicialmente os dados foram submetidos a análise descritiva. Para verificar a dependência espacial, interpolar dados e elaborar mapas foi empregada a análise geoestatística, por meio de ajuste de semivariograma com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, pela metodologia de Vieira (2000). Do ajuste de um modelo matemático foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0+C$ ) e o alcance (a)). Todas as análises de variabilidade espacial foram realizadas utilizando-se o software GS+ versão 7.0. Também foi calculado o grau dependência espacial (GDE) das variáveis, classificado segundo Biondi et al. (1994) como: fraca GDE<25%; moderada GDE entre 25 e 75%; e forte GDE>75%. Após o ajuste do semivariograma, os dados foram interpolados pelo método de krigagem. Com os valores estimados foi elaborado o mapa de isolinhas para P do solo, em função das coordenadas geográficas, utilizando o programa Surfer 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O P apresentou distribuição assimétrica à direita. Pelo resultado do teste de KS, o P não possui distribuição normal, porém, ainda assim, os valores baixos de assimetria e principalmente curtose indicam que esta variável tem distribuição aproximada a normal (Tabela 1), sendo, portanto, adequado para o uso da geoestatística (SOUZA et al., 2010). De acordo com Rodrigues et al. (2015), valores de assimetria próximo de zero e curtose de três permitem considerar que os dados atendem a normalidade.

A análise geoestatística evidenciou que o P apresenta dependência espacial (Tabela 2). O semivariograma ajustado está apresentado na Figura 1A. O valor do efeito pepita ( $C_0$ ) indica a variabilidade não explicada, que pode ser devido a erros de medida ou microvariação não detectada (FERREIRO et al., 2016). O valor observado para o P foi de 0,196 indicando que a amostragem foi adequada, uma vez que quanto menor for este parâmetro mais precisa será a avaliação da dependência espacial (VIEIRA, 2000). Avaliando o  $C_0$  e o  $C_0 + C$ , observa-se que o efeito pepita contribui com 50% do valor do patamar, apresentando um semivariograma

**Tabela 1** - Estatística descritiva do fósforo (P) do solo em área de consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira (Nova Califórnia/Porto Velho-RO)

### Variáveis

#### Média

#### Md\*

#### Mínimo

<sup>1</sup> Embrapa Acre, tadario.oliveira@embrapa.br

<sup>2</sup> Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, deborah.vercoza@gmail.com

<sup>3</sup> Empresa, danimique@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Projeto BID Embrapa, nilsonbardales@gmail.com

<sup>5</sup> Embrapa Acre, eufraan.amaral@embrapa.br

**Máximo**

**DP**

**CV**

**CA**

**Curt**

**KS**

**P**

2,23

1,88

1,39

5,36

0,83

37,22

1,74

2,71

0,141<sup>NS</sup>

\*Md: mediana; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; CA: coeficiente de assimetria; Curt: curtose; KS: teste de Kolmogorov-Smirnov.

**Tabela 2** - Componentes da semivariância e grau de dependência espacial (GDE) do P no solo em consórcio agroflorestal no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho (RO)

**Variáveis**

**Modelo**

**C<sub>0</sub>**

**C<sub>0</sub>+C**

**a (m)**

**GDE (%)**

**DE**

**R<sup>2</sup>**

**SQR**

**P**

Exponencial

0,196

0,392

9,80

50,13

Moderada

0,610

0,01840

C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C: patamar; a: alcance; GDE: grau de dependência espacial (DE); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; SQR: soma dos quadrados dos resíduos.

bem definido e atestando que a malha de amostragem foi adequada. Corroborando com este resultado, o valor obtido para alcance (9,80 m) é condizente com a grade amostral utilizada, o que evidencia a adequação do espaçamento de amostragem na caracterização da dependência espacial da variável (SOARES et al., 2018).

<sup>1</sup> Embrapa Acre, tadario.oliveira@embrapa.br

<sup>2</sup> Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, deborah.vercoza@gmail.com

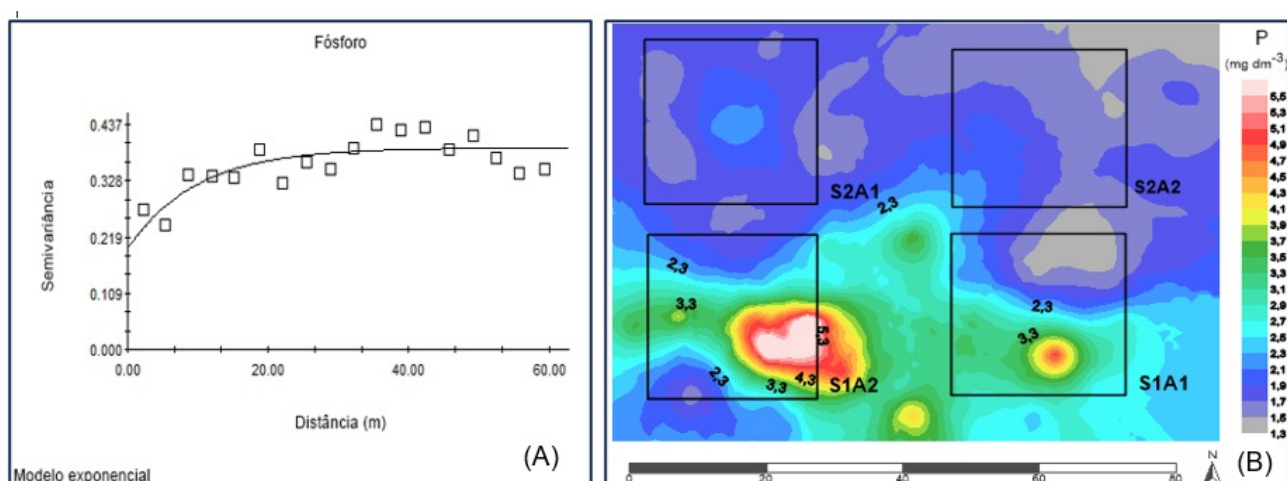
<sup>3</sup> Empresa, danimique@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Projeto BID Embrapa, nilsonbardales@gmail.com

<sup>5</sup> Embrapa Acre, eufraan.amaral@embrapa.br

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o semivariograma foi 0,610, indicando boa correlação. Este coeficiente indica o quanto o modelo ajustado é capaz de explicar os dados coletados e associado a soma de quadrados do resíduo (SQR) propicia uma escolha mais exata do modelo que melhor se ajusta aos dados. O modelo exponencial ajustado nesse trabalho foi baseado no maior  $R^2$  e menor SQR.

Observando o mapa de isolinhas (Figura 1B) nota-se que o S1 apresenta maiores valores que o sistema com cupuaçu, pupunha e bacaba. Por meio da análise de variância foi possível atestar estatisticamente este contraste observado pela geoestatística (Tabela 3). Houve diferença significativa entre o tipo de consórcio, sendo o sistema com cupuaçuzeiro e pupunheira (S1) ( $2,71 \text{ mg dm}^{-3}$ ) superior estatisticamente ao S2 ( $1,74 \text{ mg dm}^{-3}$ ). O maior número de indivíduos no sistema com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira (S2) contribui para as diferenças nos teores de nutrientes no solo, uma vez que ocorre o aumento do dreno de nutrientes sem o aumento da fonte.



**Figura 1.** Semivariograma do P do solo (0-20 cm) (A) e mapa de isolinhas da variabilidade espacial do P no solo (0 - 20 cm) (B), em consórcios agroflorestais no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho (RO).

**Tabela 3 -** Fósforo (P) no solo em consórcios agroflorestais no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho (RO)

**Consórcio\***

**P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )**

**CV**

S1

2,71 a

30,90

S2

1,74 b

27,23

\*S1: consórcio com cupuaçuzeiro e pupunheira; S2: consórcio com cupuaçuzeiro, pupunheira e bacabeira.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

Em consórcios agroflorestais de pupunheira e cupuaçuzeiro os valores de P são superiores ao sistema que incluir a bacabeira como componente adicional.

Análises geoestatísticas são adequadas para demonstrar a variabilidade espacial de atributos do solo em sistemas agroflorestais e permitem identificar interações entre os componentes do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <sup>1</sup> Embrapa Acre, tadario.oliveira@embrapa.br
- <sup>2</sup> Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, deborah.vercoza@gmail.com
- <sup>3</sup> Empresa, danimique@yahoo.com.br
- <sup>4</sup> Projeto BID Embrapa, nilsonbardales@gmail.com
- <sup>5</sup> Embrapa Acre, eufraan.amaral@embrapa.br

AMARAL, E. F.; OLIVEIRA, T. K.; BARDALES, N. G.; ARAÚJO, E. A.; OLIVEIRA, C. H. A.; SILVA, D. V.; MORENO, N. M. C. **Caracterização de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2018. 33p.

BIONDI, F.; MYERS, D.E. & AVERY, C.C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Can. J. For. Res.**, 24:1354-1368, 1994.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; 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.

FERREIRO, J. P.; ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; ABREU, C. A.; VIEIRA, S. R.; VÁZQUEZ, E. V. Spatial variability of soil organic matter and cation exchange capacity in an oxisol under different land uses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 1, p. 1-34, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Dados históricos anuais. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

MARTINS, T. P.; RANIERI, V. E. L. Sistemas agroflorestais como alternativa para as reservas legais. **Ambiente e Sociedade**, v.17, n.3, 2014.

NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; TEXEIRA, A. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semi-árido cearense. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 4, p. 327-337, jul./ago. 2008.

RODRIGUES, K. M.; HURTADO, S. M. C.; DECHEN, S. C.; VIEIRA, S. R. Spatial variability in soil fertility and particle size and their effects on sugarcane yield. **Sugar Tech**, v. 18, p. 39-48, 2015.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SOUZA, Z. M.; AQUINO, R. E.; SILVA, D. P.; SILVA, J. F. Variabilidade espacial dos atributos do solo sob agroflorestal na região de Humaitá, AM. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 1, p. 33-41, 2018.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, p. 48-56, 2010.

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

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema agroflorestal, fertilidade do solo, *Theobroma grandiflorum*, *Bactris gasipaes*, *Oenocarpus mapora*

<sup>1</sup> Embrapa Acre, [tadario.oliveira@embrapa.br](mailto:tadario.oliveira@embrapa.br)

<sup>2</sup> Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, [deborah.vercoza@gmail.com](mailto:deborah.vercoza@gmail.com)

<sup>3</sup> Empresa, [danimique@yahoo.com.br](mailto:danimique@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Projeto BID Embrapa, [nilsonbardales@gmail.com](mailto:nilsonbardales@gmail.com)

<sup>5</sup> Embrapa Acre, [euftran.amaral@embrapa.br](mailto:euftran.amaral@embrapa.br)