



**Encontro Nacional
de Educação, Ciência
e Tecnologia/UEPB**

ESTUDO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO COMO INDICADOR DA FERTILIDADE DE SOLO NO BIOMA CAATINGA.

Marystella Duarte CORREIA¹, Rômulo Simões César MENEZES², Ricardo Alves de OLINDA³

¹ DEINFO, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Av. D. Manoel de Medeiros, S/Nº - CEP 52.171-900 – Dois Irmãos-Recife-PE E-mail: marys_duarte@hotmail.com. Telefone/Fax: (81) 3320-6490.

² DEN, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901 . E-mail: rmenezes@ufpe.br Telefone: (81) 2126.8000

³ Departamento de Estatística, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Rua Baraúnas, 351- Bairro Universitário – Campina Grande-PB, CEP: 58.429-000. E-mail: ricardo.estat@yahoo.com.br. Telefone: (83) 3315-3300.

RESUMO

De todas as árvores do nordeste brasileiro, o juazeiro é a planta símbolo da caatinga. É uma planta perfeitamente adaptada ao clima seco, com nítida preferência por solos férteis de várzeas e beira de rios. Empobrece inteiramente o solo aspérrimo, vive em terras semi-úmidas, semi-áridas e cresce melhor em terrenos mais úmidos onde pode chegar aos quinze metros de altura. A estatística espacial procura identificar junto ao semivariograma a variabilidade espacial dos dados, considerando a parte central dos estudos geoestatísticos, além de ser também uma ferramenta perfeita para a interpolação dos dados através da Krigagem. Daí a importância dos modelos e do seu ajuste. O presente estudo foi conduzido em uma fazenda agroflorestal silvipastoril, inserida na cidade de Custódia PE. As árvores permanecem sempre ao meio da parcela no campo intocado pelo ser humano a mais de 50 anos, consorciada juntamente com o Capim buffel e frequentada por alguns animais da região. Estudantes e pesquisadores do DEN da UFPE fizeram uma amostragem aleatória, com um sistema regular no local e coletaram 81 amostras de solo, com suas respectivas coordenadas cartesianas, com 15 cm de profundidade. O interesse é estudar a dependência espacial do teor de carbono como indicador da fertilidade do solo, em parcelas com juazeiro. E desta forma analisar a contribuição desta planta na fertilidade do solo do Bioma Caatinga. Observou-se uma moderada dependência espacial para esta variável, a espécie arbórea não preserva muito o carbono no solo. Nesta área o solo encontra-se sempre com fertilidades abaixo do que é considerado pela literatura no Bioma Caatinga como fértil.

PALAVRAS CHAVE: Semivariograma, Zizyphus joazeiro (Juazeiro), Dependência espacial.



1 INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial de algumas características do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores praticamente desde o início do século (Vieira, 2000). A análise geoestatística possibilita a construção de variogramas que servem de suporte para a técnica da krigagem, permitindo a representação quantitativa da variação de um fenômeno regionalizado no espaço (Landim, 2003). Com o procedimento geoestatístico da krigagem, portanto, é possível estimar valores de pontos não amostrados no solo, sem tendência e com variância mínima.

O semivariograma é a parte central dos estudos geoestatísticos, capaz de descrever a variação espacial, além de ser o ponto chave na interpolação dos dados por Krigagem (Guimarães, 2004). Daí a importância do ajuste e seleção dos modelos. O presente estudo foi conduzido em uma fazenda agroflorestal silvipastoril, inserida na cidade de Custódia PE. As árvores estão incluídas nos campos a mais de 50 anos, foi inserido em 1985 o Capim buffel, a fim de verificar a fertilidade do solo e a variabilidade do nutriente.

2 METODOLOGIA

O banco de dados utilizado foi coletado em 1997, por pesquisadores e estudantes do Grupo de Pesquisa em Energia da Biomassa, do Departamento de Energia Nuclear da UFPE. O experimento foi realizado em uma área de 2000 ha, com uma distância cerca de 30m a 40m entre uma árvore e outra. Foram coletadas 81 amostras de solo com 15 cm de profundidade, junto com suas coordenadas cartesianas, uma amostragem aleatória e sistema regular. A área estudada está inserida na Fazenda Jaçanã em um sistema agroflorestal silvipastoril, localizada no Município de Custódia, PE. Os dados do presente estudo foram obtidos na área de reserva legal, a qual tem sido preservada por pelo menos cerca de 50 anos.

Para as análises da variável, utilizou-se o software estatístico R version 2.15.0.



Índice de Dependência Espacial

Para analisar o grau da dependência espacial do atributo em estudo, utilizou-se o Índice de Dependência Espacial (IDE%), definido pela seguinte equação:

$$IDE(\%) = \frac{\tau^2}{\tau^2 + \sigma^2} \times 100$$

Em que:

τ^2 = Efeito pepita ou nugget;

σ^2 = Componente estrutural;

$\tau^2 + \sigma^2$ = Patamar.

E a classificação quanto ao grau de dependência espacial da variável em estudo, segundo os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994) para avaliar a % do efeito pepita:

- i) IDE < 25% forte dependência espacial;
- ii) 25% < IDE < 75% dependência moderada;
- iii) IDE > 75% dependência fraca;

Variograma / Semivariograma

O variograma é utilizado para verificar a presença de correlação espacial entre as unidades amostrais. Analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, também é usado para estimar valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem. Quando divide-se o variograma por dois, para compatibilização da fórmula, obtém-se então o semivariograma (Olinda, 2010).

$$\hat{\gamma}(\underline{h}) = \frac{1}{2N(\underline{h})} \sum_{i=1}^{N(\underline{h})} [Z(s_i) - Z(s_i + \underline{h})]^2$$

Funções de correlações

A partir do semivariograma é possível ajustar uma função matemática que expressa a estrutura de dependência espacial da característica avaliada, é necessário ajustá-lo a um modelo teórico (Mello, 2004). Dentre os vários modelos



existentes na literatura, as funções de correlações mais usuais escolhidos para ajustar os dados para este estudo são o Matérn com kappa (0,5 e 1,0), o Esférico, o Gaussiano e o Circular.

- **Matérn** Essa família de funções de correlação foi proposta por Bertil Matérn (1986), em que Γ é a função Gama, K é a função Bessel de ordem k , h é a distância euclidiana entre duas localizações e ϕ é o parâmetro que está relacionado ao alcance, maiores valores indicam dependência espacial de maior alcance. O parâmetro k está relacionado à suavidade, a função Matérn com $kappa$ 0,5 refere-se ao modelo exponencial, conforme apresentado na Equação 2 (Mello, 2005).

$$(1) \rho(\underline{h}) = \left\{ 2^{k-1} \Gamma(k) \right\}^{-1} \left(\frac{h}{\phi} \right)^k K_k \left(\frac{h}{\phi} \right) \quad (2) \rho(\underline{h}) = \exp \left(-\frac{h}{\phi} \right)$$

- **Esférico** É o mais comum, podendo-se afirmar que equivale à função de distribuição normal da estatística clássica (Landim, 2003).

$$\rho(\underline{h}) = 1 - 1,5 \left(\frac{h}{\phi} \right) + 0,5 \left(\frac{h}{\phi} \right)^3$$

- **Gaussiano** Seu comportamento parabólico próximo à origem e a tangente nesse ponto é horizontal, o que indica pequena variabilidade para curtas distâncias (Landim, 2003).

$$\rho(\underline{h}) = \exp \left(-\frac{h}{\phi} \right)^2$$

- **Circular** Segundo Mcbratney e Webster (1986), a função de correlação circular é válida em R e em R^2 , mas não em R^3 e define-se da seguinte forma (Santos, 2011):



$$\rho(\mathbf{h}) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left(\text{sen}^{-1} \left(\mathbf{h} + \sqrt{1 - \mathbf{h}^2} \right) \right), & \mathbf{h} > 1 \\ 1 & \end{cases}$$

Critério de Informação de Akaike (AIC)

O Critério de Informação de Akaike (AIC) tem sido bastante utilizado para diferentes estruturas de covariâncias, relaciona-se a discrepância que existe entre o modelo verdadeiro e o aproximado, por meio da máxima verossimilhança. Seleciona-se uma combinação de variáveis exploratórias a modelos para a função de correlação que minimize o valor de AIC (Olinda, 2010).

$$AIC = -2 \times (\log L(\boldsymbol{\theta}; y)) + 2p$$

Critério de Informação Bayesiana (BIC)

Pode ser feita a partir de medidas de adequabilidade, os quais são aproximações do fator de Bayes. Ao estimar os parâmetros do modelo usado estimativa da máxima verossimilhança, é possível aumentar a probabilidade de adicionar parâmetros, que podem resultar em overfitting. Menor valor do BIC indica o melhor ajuste do modelo (Olinda, 2010).

$$BIC = -2 \times (\log L(\boldsymbol{\theta}; y)) + p \log(n)$$

Krigagem

Uma aplicação imediata do semivariograma é a utilização das informações geradas por ele na interpolação, ou seja, na estimativa de dados e posterior mapeamento da variável. É um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (Landim, 2003).

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

A **krigagem simples** é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área em estudo. A **krigagem ordinária** é mais utilizada do



que a krigagem simples por não exigir conhecimento nem estacionaridade da média sobre toda a área estudada.

Valores de Referência

Para ser considerado o solo no bioma caatinga como fértil, há valores de referências para fazerem-se comparações com os valores observados: O valor de teor de Carbono em solos $<0,8$ é considerado baixa fertilidade; em solos com valores entre $0,8$ a $1,4$ (fertilidade média); e em solos com valores $>1,4$ (fertilidade alta). (Banco do Nordeste, 2007). Neste trabalho analisou-se a média do valor considerado médio $1,1$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva mostra que os dados possuem uma distribuição de probabilidade normal aproximada.

Tabela 1- Estatística descritiva: média, mínimo, máximo, desvio padrão (D.P.), coeficiente de variação (C.V.), curtose e assimetria de amostras de solo do Juazeiro.

Média	Mínimo	Máximo	D.P.	C.V.	Curtose	Assimetria
0,687	0,240	1,217	0,216	31,55%	2,682	0,475

Observa-se que a distribuição do atributo carbono é assimétrica positiva, segundo critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980) para os atributos do solo, o coeficiente de variação (CV) é considerado como médio ($12\% < CV < 52\%$).

Conforme a Figura 1 observa-se que o gráfico do canto superior esquerdo representa os dados nos quartis já transformados, os símbolos "+", " Δ ", "o", "x", nesta ordem, indicam os quartis amostral, essa imagem condiz com a idéia de que existe padrão espacial. Os gráficos do canto superior direito e do canto inferior esquerdo apresentam a dispersão dos dados em torno da média, o histograma segue uma distribuição normal.

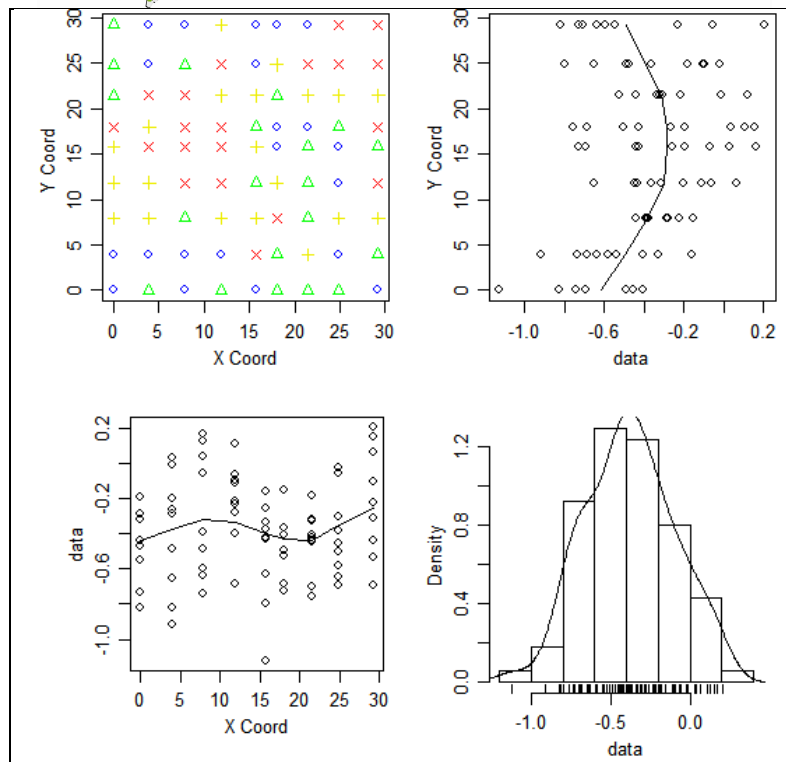


Figura 1- Gráfico descritivo do padrão espacial de amostras de solo, com os dados transformados.

Na Tabela 2 apresentam-se as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros dos modelos ajustados aos dados de carbono no solo.

Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros associado aos modelos para a variável Carbono por meio da máxima verossimilhança, assumindo a média como um polinômio de primeira ordem sobre as coordenadas (x, y).

Modelos	$\hat{\beta}$	$\hat{\tau}^2$	$\hat{\sigma}^2$	$\hat{\phi}$	AIC	BIC	IDE
Matérn / 0.5	-0,4148	0,0180	0,0684	7,4229	-39,82	-30,24	21%
Matérn / 1.0	-0,4124	0,0276	0,0605	5,1937	-41,03	-31,45	31%
Esférico	-0,3981	0,0238	0,0548	14,8776	-43,06	-33,49	30%
Gaussiano	-0,3985	0,0326	0,0512	7,8398	-43,98	-34,40	39%
Circular	-0,3922	0,0238	0,0538	12,3475	-43,37	-33,80	31%

Nota-se que a variável carbono do solo apresenta dependência espacial, que pode ser descrita pelo modelo Gaussiano com alcance de 7,8398 m, ou seja,



Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB

amostras de carbono do solo selecionadas a distâncias inferiores a 7,8398 m estão correlacionadas entre si.

O parâmetro $\hat{\beta}$ apresenta valores bem próximos comparando com as outras funções de correlação. O efeito pepita ou “nugget” : corresponde a cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas. Demonstra a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Componente estrutural ou “sill partial” : é a diferença entre o patamar $\tau^2 + \sigma^2$ é o Efeito Pepita. Alcance ou “range” $\hat{\phi}_2$: refere-se à distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Quanto maior o alcance, maior será a homogeneidade entre as unidades da amostra (Frade, 2011).

Após essa análise, seleciona-se um modelo através do menor valor do *AIC* e *BIC*. Para este trabalho o melhor modelo foi o Gaussiano, com um IDE de 39%, o que indica uma dependência espacial moderada, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994).

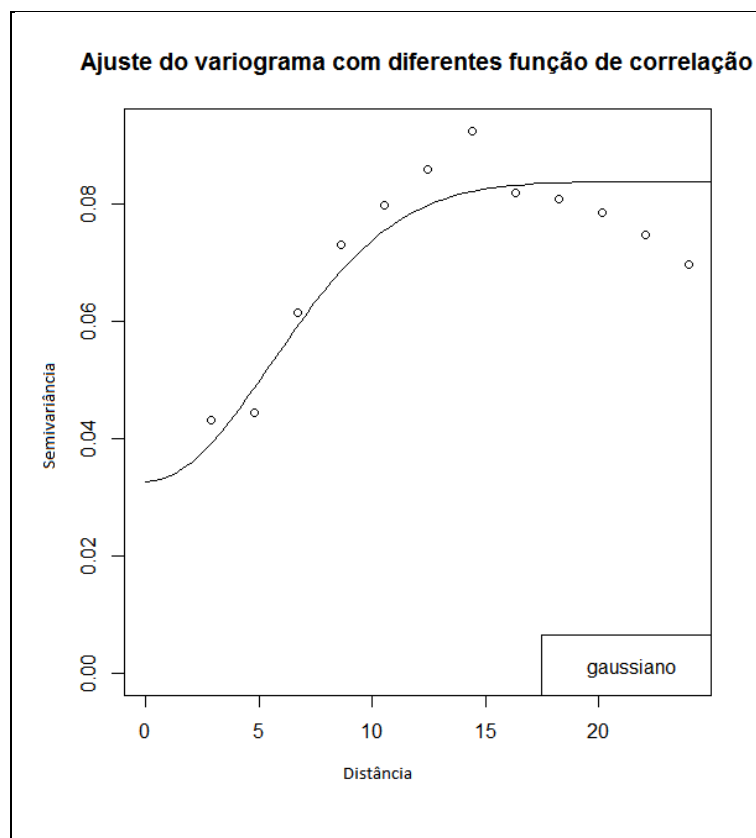


Figura 2 – Semivariograma dos dados de carbono e o modelo Gaussiano ajustado conforme o Método da Máxima Verossimilhança.

A krigagem é utilizada para estimar o valor de uma variável de interesse em um local onde não foi possível fazer a observação.

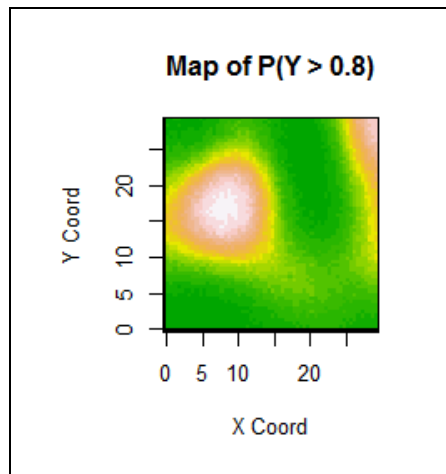


Figura 3 - Índice de fertilidade no solo com baixo teor de carbono.

Na Figura 3 a cor esbranquiçada, mostra o quanto de carbono existe naquele local, como o Juazeiro encontra-se no centro do quadrado, observa-se uma pequena concentração de carbono com probabilidade acima de 0,8 abaixo da copa.

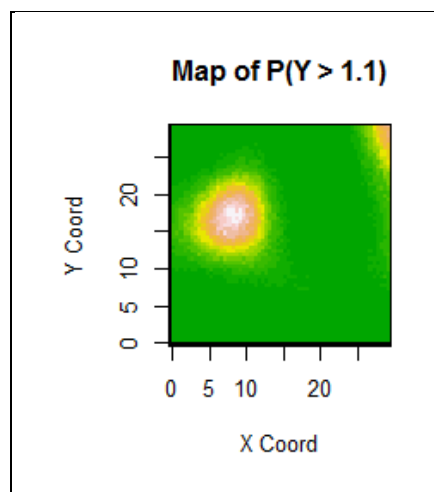


Figura 4 - Índice de fertilidade no solo com médio teor de carbono.

Conforme a Figura 4 a cor branca, indica o quanto de carbono existe, para uma probabilidade de Y ser maior que 1,1 a concentração de carbono está apenas abaixo da copa da árvore.

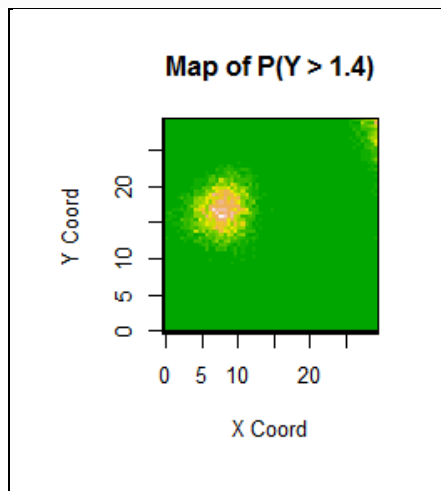


Figura 5 - Índice de fertilidade no solo com alto teor de carbono.

A Figura 5 a cor branca, mostra o quanto de carbono existe abaixo da copa da árvore, para uma probabilidade de Y ser maior que 1,4.

4 CONCLUSÃO

Todos os modelos estudados apresentam estruturas espaciais bem definidas, existe uma função estrutural com semivariância de comportamento modelável. Para todas as funções avaliadas, a função de correlação que melhor ajustou-se ao semivariograma experimental foi o modelo Gaussiano apresentando o menor valor de *AIC* e *BIC*. Isto significa que as estimativas com o modelo, considerando-se a componente espacial, independente do procedimento de amostragem, trará otimização nas estimativas.

Na área, o solo encontra-se sempre com fertilidades abaixo do que é considerado fértil, percebe-se uma pequena concentração de carbono abaixo da copa, observou-se uma moderada dependência espacial para esta variável. Verifica-se então que a espécie estudada o Juazeiro não preserva muito o carbono no solo.



REFERÊNCIAS

Agenda do Produtor Rural. Banco do Nordeste, 271 f. 2007.

CAMBARDELLA, C.A. et al. **Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils**. Soil Science Society of America Journal, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

FRADE, D. D. R., **Ajuste de modelos geoestatísticos na determinação da variabilidade espacial de atributos do solo**. 2011. 45 f. Monografia (Estatística) – CCT, Universidade Estadual da Paraíba.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada**. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Matemática e Núcleo de estudos estatísticos e biométricos. 2004, 77p. Disponível em:
<<http://pt.scribd.com/doc/61263725/Geoestatistica-Basica-e-Aplicada>> Acesso dia 03 de maio de 2012.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev e ampl. – São Paulo: Editora UNESP, 2003.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 111 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.

MELLO, J. M. de, BATISTA, J. L. F., RIBEIRO JÚNIOR, P. J., OLIVEIRA, M. S. de. **Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis***. SCIENTIA FORESTALIS, n. 69, p.25-37, dez. 2005.

OLINDA, R. A. de., RIBEIRO JÚNIOR, P. J., MOLIN, J. P. **Uso de técnicas geoestatísticas para determinar a dependência espacial do índice de cone da adequação de malhas amostrais**. 36 p, 2010. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba.

R version 2.15.0 (2012-03-30) Copyright (C) 2012 The R Foundation for Statistical Computing ISBN 3-900051-07-0 Platform: i386-pc-mingw32/i386 (32-bit).



SANTOS, I. P. **Análise da variabilidade espacial dos casos de dengue na capital Rio Branco por meio de técnicas geoestatísticas.** 2011. 40p. Monografia (Graduação) apresentada ao Departamento de Estatística / Centro de Ciências e Tecnologia/ Universidade Estadual da Paraíba.

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

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: HILLEL, D. (ed.). Applications of soil physics. New York: Academic, 1980. P. 319-344.