

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MATEMÁTICA
Curso de Bacharelado em Estatística

Krigagem indicadora de atributos físicos do solo na bacia do Alto Taquari

Luiz Carlos Costa Júnior

Uberlândia – MG
Dezembro – 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MATEMÁTICA**

Luiz Carlos Costa Júnior

Krigagem indicadora de atributos físicos do solo na bacia do Alto Taquari

Ednaldo Carvalho Guimarães

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Estatística, da
Universidade Federal de Uberlândia, para a
obtenção do grau de Bacharel em Estatística**

**Uberlândia – MG
Dezembro - 2017**

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiro a Deus pelas conquistas, pelos aprendizados e por sempre me fazer fiel, servo de Ti, pela força e por sempre me dar esperanças para nunca desistir do meu sonho, e também pela oportunidade e alegria de participar do EJC São Judas Tadeu – Araguari MG.

A minha mãe Elisângela e meu pai Luiz Carlos pela fé em mim depositada e todos os esforços realizados em prol de me dar segurança e confiança para tudo, e pelo apoio nos vários momentos difíceis que passei nesse período.

Agradeço também ao meu irmão Alysson que sempre esteve ao meu lado desde novo me ajudando a ser a pessoa que sou, com muito amor e apoio.

A Gislaíne que por todo o tempo que vivenciamos, por todo apoio, pelo carinho, pelo amor e fé sempre depositada em mim em todos os momentos, sou grato a você por ter me ajudado a ser quem sou e estar realizando esse sonho, você é exemplo de dedicação, humildade, honestidade, fé e sensibilidade, e só de estar ao seu lado me sinto um homem mais feliz.

Meus agradecimentos aos amigos Michael, Caio, João Pedro e Rafael que são amigos nos quais tenho profunda gratidão, carinho e respeito que foi adquirido nesse período de graduação, porém será levado assim como a amizade para toda vida. Agradeço também as amigas Vívian, Jéssica e Julia que sempre me ajudaram também nos longos períodos e matérias que achávamos improváveis a aprovação, mas conseguimos com muito esforço e estudo. E também a todos que me ajudaram de forma direta e indireta neste período, no qual fiz muitas amizades e esses companheiros para a vida.

Agradecer meu orientador Ednaldo pela paciência, apoio, disposição em me ajudar sempre ao longo desses 5 anos desde o início do primeiro projeto de iniciação científica, e também a todo o corpo docente da FAMAT em especial aos professores da Estatística que sempre me trataram com muito respeito e carinho.

RESUMO

O Rio Araguaia compreende uma das principais bacias hidrográficas do Centro-Oeste, a Bacia Hidrográfica Araguaia-Tocantins, porém mesmo estando entre os mais belos patrimônios ambientais do Brasil e sendo frequentemente visitado por turistas, o rio vem sendo ameaçado pelas ações antrópicas. Devido esses problemas, utilizou-se a metodologia de Geoestatística para mapear e apontar regiões mais propícias a ocorrência de degradação ambiental na cabeceira do Rio Araguaia, na região mais conhecida como Alto Taquari. Avaliou-se amostras referente aos respectivos atributos físicos do solo: Argila Dispersa em Água, Argila, Silte, Areia Grossa, Areia Fina, Areia Total, Condutividade Hidráulica Saturada e Grau de Flocculação. Dentre as diversas técnicas distintas que envolvem a Geoestatística, utilizou-se a modelagem através do conceito de variável indicadora que tem como vantagem a pouca contaminação por *outliers*. Assim ao analisar os atributos físicos do solo, conclui-se que às regiões a esquerda dos mapas de krigagem são mais propícios a erosão hídrica e eólica devido à alta probabilidade de ocorrência de valores acima da mediana para Argila Dispersa em Água, Argila e Silte, sendo contrária a região a direita inferior do mapa, cujo o solo é mais propício a característica arenosa.

ABSTRACT

The Araguaia River comprises one of the main hydrographic basins of the Midwest, the Araguaia-Tocantins Hydrographic Basin, but even being among the most beautiful environmental patrimonies in Brazil and being visited frequently by tourists, the river has been threatened by anthropic actions. Due to these problems, the methodology of Geostatistics was used to map and to point out regions more favorable to the occurrence of environmental degradation in the headwaters of the Araguaia River, in the region more like Alto Taquari. Samples were evaluated for the respective soil physical attributes: Dispersed Clay in Water, Clay, Silt, Thick Sand, Fine Sand, Total Sand, Saturated Hydraulic Conductivity and Degree of Flocculation. Among the different techniques that involve Geostatistics, modeling was used through the concept of an indicator variable that has the advantage of little contamination by outliers. Thus, when analyzing the physical attributes of the soil, it is concluded that the regions to the left of the kriging maps are more favorable to water and wind erosion due to the high probability of occurrence of values above the median for the Dispersed Clay in Water, Clay and Silt, being contrary to the lower right region of the map, whose soil is more conducive to the sandy feature.

SUMÁRIO

1. Introdução	9
2. Objetivos	11
3. Metodologia	10
3.1. Material	12
3.2. Métodos	13
3.2.1. Análise Descritiva	13
3.2.2. Determinação da Variável Indicadora	14
3.2.3. Semivariograma	14
3.2.4. Krigagem	16
4. Resultados e Discussão	17
4.1. Análise Descritiva	17
4.2. Análise Geoestatística	20
5. Conclusão	27
6. Referências Bibliográficas	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Área estudada e demarcação de localização das amostras.	13
Figura 2 – Box-plot ilustrativo	14
Figura 3 – Boxplot das variáveis ADA e Argila.	19
Figura 4 – Boxplot das variáveis Silte e Areia Total	20
Figura 5 – Boxplot das variáveis Areia Grossa e Areia Fina	20
Figura 6 – Boxplot das variáveis Areia Grossa e Areia Fina.	20
Figura 7 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Argila Dispersa em água.	23
Figura 8 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Argila.	23
Figura 9 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Silte.	24
Figura 11 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Areia Total.	24
Figura 12 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Grau de Floculação.	25
Figura 13 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Areia Grossa.	26
Figura 14 – Semivariogramas das Indicadoras Areia Fina e CH (Condutividade Hidráulica) de efeito pepita puro.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise descritiva dos atributos físicos dos solos, da bacia do Alto Taquari.	18
Tabela 2 – Estimativas de modelos com os parâmetros associados.	21

1. INTRODUÇÃO

O Rio Araguaia é um rio que banha os estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins e Pará, no Brasil. Compreende uma das principais bacias hidrográficas do Centro-Oeste, a Bacia Hidrográfica Araguaia-Tocantins. O rio conta com uma extensão total de 2.114 quilômetros, entretanto este patrimônio ambiental do Brasil, tão atraente aos turistas, está sendo intensamente ameaçado pelas ações antrópicas, que são ações ocasionadas pela ação humana, as mesmas são as atividades realizadas que impactam o ecossistema terrestre, como a mais aplicada na região estudada, que é a atividade agrícola.

Os solos localizados na região das nascentes do Rio Araguaia são considerados frágeis e vêm recebendo intenso uso agrícola, o que tem comprometido sua qualidade do solo e provocando desequilíbrio ecológico na região conforme argumentaram Gomes et al. (2006).

Para Camargo e Alleoni (1997), o manejo do solo altera a sua qualidade modificando a disponibilidade e o fluxo de água.

Estudos que visem conhecer e descrever o comportamento de atributos relacionados à qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica podem contribuir com a adoção de práticas de manejo sustentável, reduzindo o impacto da intervenção antrópica na área. Dentre estes atributos tem-se aqueles relacionados a qualidade física dos solos e que estão relacionadas as classes textural, como as frações argila, silte e areia, o grau de floculação, a argila dispersa em água e a condutividade hidráulica saturada. Esses atributos estão relacionados com a degradação do solo

A metodologia estatística oferece variadas técnicas para a mensuração de dados, dentre elas, a geoestatística é uma técnica que permite a compreensão e análise espacial da variável estudada, conforme argumenta Vieira et al (1983). A geoestatística pode ser resumida em um ramo da estatística que une o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, assim podendo determinar a dependência espacial das observações de uma variável.

De acordo com Veiga et al (2008) a geoestatística permite manipular dados discretos e contínuos, que possuem entre si uma relação de dependência espacial. Sabe-se que a mensuração de dados possibilita uma melhor compreensão dos aspectos qualitativos e funcionais das dimensões analisadas.

Dentre as metodologias da geoestatística encontram-se aquelas associadas à

análise de variáveis indicadoras (YAMAMOTO, LANDIM, 2013), ou seja, semivariograma e krigagem da indicadora, que apresenta como uma de suas vantagens a pouca contaminação pela presença de poucos valores altos na interpolação de regiões com valores baixos.

Dessa forma objetiva-se com o presente trabalho, caracterizar a dependência espacial de atributos físicos dos solos, na nascente do Rio Araguaia, na Bacia do Alto Taquari, utilizando os semivariogramas das indicadoras e mapear as probabilidades de ocorrências de valores inferiores a mediana de cada atributo.

2. OBJETIVOS

- Descrever a dependência espacial de probabilidades de ocorrência de classes de atributos físicos dos solos por meio de semivariogramas e de krigagens das variáveis indicadoras, na região da nascente do Rio Araguaia.

- Utilizar os mapas gerados para identificar as áreas com maior probabilidade de estarem afetadas pela degradação ambiental (erosão) na região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

A área de estudo está localizada na região das nascentes do Rio Araguaia, na bacia do Rio Taquari, conhecida como Alto Taquari. Assim serão utilizados os dados da região das cabeceiras do rio Araguaia, região conhecida como Alto Taquari que se localiza no extremo sudeste do estado de Mato Grosso e também da região do Alto rio Araguaia que se localiza a sudoeste do estado de Goiás. Os A área de estudo abrange 51.850 ha, localizada sobre as folhas do IBGE SE-22-V-C-V (Taquari) e SE -22- Y-A-III (Baús), delimitada pelas coordenadas em metros UTM X, Y (E 268.000, S 8.004.000) e X, Y (E 288.000, S 8.030.000).

Na área foram avaliados 340 pontos amostrais de solo, determinando-se os teores de: Argila Dispersa em Água (ADA), Argila, Silte, Areia (Areia Total, Areia Grossa e Areia Fina), Grau de Floculação (GF) e Condutividade Hidráulica Saturada, nas quais foram medidas em gramas por quilo (g.kg^{-1}) todas as variáveis com exceção da variável Condutividade Hidráulica Saturada, que foi medida em milímetros por hora (mm.h^{-1}).

As variáveis são medidas em sua maioria em mesma unidade, onde as diferenças entre as demais são basicamente expressas pela diferença dos tipos de solo descritos abaixo, segundo Almeida (2005).

- Areia: constituída por minerais ou partículas de rochas com diâmetros (Φ) compreendidos entre 0,06 mm e 2 mm. É caracterizado por sua textura, compactidade e forma dos grãos. Quanto à textura, as areias podem ser:

Areias grossas: Φ entre 0,60 mm e 2,0 mm;

Areias médias: Φ entre 0,20 mm e 0,60 mm;

Areias finas: Φ entre 0,06 mm e 0,20 mm.

- Silte: solo que se caracteriza por apresentar baixa ou nenhuma plasticidade e exibe baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte, que é formada por partículas com diâmetros entre 0,002 mm e 0,06 mm. Caracterizam-se pela textura e compactidade.

- Argila: caracterizado por ser solo de granulação fina constituída principalmente por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração argila.

Neste trabalho será avaliada a dependência espacial destes atributos na profundidade de 0- 20 cm, por ser esta a região mais afetada pelas atividades antrópicas. Na Figura 1 temos a ilustração da área estudada onde cada ponto ilustra o posicionamento de retirada da amostra.

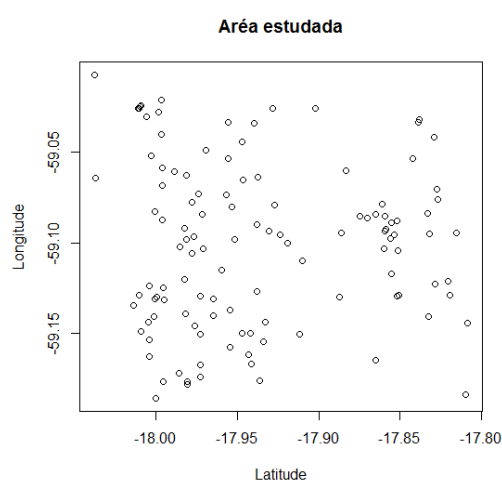


Figura 1 –Área estudada e demarcação de localização das amostras.

Todo o processo da análise estatística foi realizada no programa R (R Development Core Team, 2014) por meio da ferramenta Action (ACTION, 2014) e do pacote GeoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001).

3.2. Métodos

3.2.1. Análise Descritiva

Para cada atributo físico do solo foram determinadas as estatísticas descritivas e construídos os box-plot visando conhecer o comportamento geral das variáveis pesquisadas. As estatísticas calculadas foram os pontos de máximo e mínimo, assimetria, desvio padrão, média, mediana, curtose e o coeficiente de variação. E os box-plot foram construídos tendo como base os quartis. Considerou-se como outliers os valores dos

atributos avaliados que estivessem acima do limite superior ou abaixo de limite inferior, conforme pode-se observar na Figura 2.

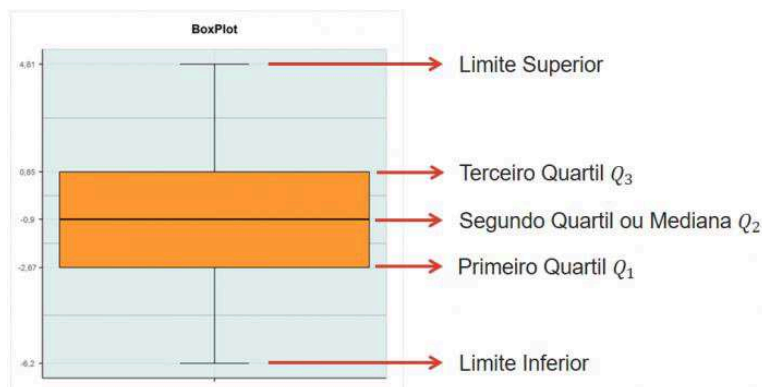


Figura 2 – Box-plot ilustrativo para a definição de *outliers*

Fonte portal action 2017

Os limites superiores (LS) e o limite inferior (LI) supracitado são definidos como (Equação 1):

$$\begin{aligned} LS &= Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1) \\ LI &= Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1) \end{aligned} \quad 1$$

3.2.2. Determinação da variável indicadora

Segundo Yamamoto e Landim (2013, p. 61) uma variável aleatória contínua pode ser discretizada em relação a um teor de corte da seguinte forma (Equação 2):

$$I(x, c) = \begin{cases} 0, & \text{se } X_i > X_c \\ 1, & \text{se } X_i \leq X_c \end{cases} \quad 2$$

Em que X_c representa o teor de corte e X_i o ponto amostrado.

O teor de corte foi definido para o presente trabalho, como a Mediana de cada atributo físico do solo analisado, no qual a substituição para os valores foi realizada de forma que se obtenha 1 se a amostra $X_i \leq \text{MEDIANA}$ e 0 se a amostra $X_i > \text{MEDIANA}$.

3.2.3. Semivariograma

Uma das funções mais utilizadas na geoestatística para a determinação da

dependência espacial de variáveis aleatórias regionalizadas é a função de semivariância, que gera o semivariograma.

Segundo Yamamoto e Landim (2013), o semivariograma experimental é um gráfico que expressa a variabilidade espacial entre as amostras, sendo uma função que só depende do vetor h , distância entre os pares de casos amostrados. A mesma é definida por meio do estimador de Matheron, conforme Equação 3.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad 3$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância para a distância h ; $N(h)$ é o número de pares da variável $Z(x)$ tal que as observações $Z(x_i)$ e $Z(x_j)$ sejam separadas por uma distância h na área de estudo.

Portanto a partir das semivariâncias experimentais, mostram os autores supracitados Yamamoto e Landim que é possível, quando ocorre a dependência espacial, ajustar modelos que descrevem o comportamento da semivariância em função da distância. A modelagem dos semivariogramas estudados para realização do trabalho foram por meio do modelo exponencial, com (Equação 4) e modelo gaussiana (Equação 5), e esférico (Equação 6).

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{[-3(h/a)]} \right] \quad 0 < h < d \quad 4$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{[-3(h/a)^2]} \right] \quad 0 \leq h \leq d \quad 5$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad 6$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância para a distância h ; C_0 é o efeito pepita; C é a contribuição da dependência espacial; $C_0 + C$ é o patamar e a é o alcance da dependência

espacial. No modelo de gaussiano d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido e neste modelo o patamar (a) é atingido apenas assintoticamente. O parâmetro a é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza.

Vale ressaltar que a distância máxima para o cálculo da semivariância deve ser no máximo igual a máxima distância de coleta da amostra. Os passos para cálculo das semivariâncias consiste em como as semivariâncias vão ser agrupadas. Quanto maior for este valor menos pontos ocorrem no semivariograma.

Alguns programas computacionais como o GeoR, mostram, como o resultado dos ajustes dos parâmetros, o valor do alcance teórico. No modelo esférico o alcance prático é igual ao alcance teórico; para o modelo exponencial o alcance prático é obtido multiplicando-se o alcance teórico por 3; e no modelo gaussiano o valor do alcance teórico deve ser multiplicado por raiz quadrada de 3 para a obtenção do alcance prático, conforme indica Guimarães (2004).

Com base nas estimativas dos parâmetros efeito pepita (C_0) e patamar (C_0+C) é possível, de acordo com Cambardella et al (1994), definir o grau de dependência espacial da variável em análise, sendo:

- I) **Variável com forte dependência espacial:** Se o efeito pepita for igual ou menor que 25% do patamar. $\left(\frac{C_0}{C_0+C} \leq 0,25 \right)$
- II) **Variável com moderada dependência espacial:** Se o efeito pepita estiver entre 25% e 75% do patamar. $\left(0,25 \leq \frac{C_0}{C_0+C} \leq 0,75 \right)$
- III) **Variável com fraca dependência espacial:** Se o efeito pepita estiver entre 75% e 100% do patamar. $\left(0,75 \leq \frac{C_0}{C_0+C} \leq 1,00 \right)$
- IV) **Variável independente espacialmente:** Se a relação entre o efeito pepita e o patamar for igual à 100%, neste caso temos o efeito pepita puro. $\left(\frac{C_0}{C_0+C} = 1,00 \right)$

3.2.4. Krigagem

Segundo Guimarães (2000) o semivariograma é a ferramenta da geoestatística que permite verificar e modelar a dependência espacial de uma variável. 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. O interpolador que utiliza o semivariograma em sua modelagem é chamado de krigagem. O nome krigagem é uma homenagem ao engenheiro sul-africano D. G. Krige.

Para a aplicação da krigagem assume-se: que sejam conhecidas as realizações $z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_n)$ da variável $Z(t)$, nos locais $t_1, t_2, \dots, t_n$; que o semivariograma da variável já tenha sido determinado; e que o interesse seja estimar um valor z^* na posição t_0 .

O valor estimado $z^*(t_0)$ é dado por:

$$z^*(t_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(t_i)$$

em que: n é o número de amostras de $Z(t)$ envolvidas na estimativa de $z^*(t_0)$, e λ_i são os pesos associados a cada valor medido, $z(t_i)$.

Portanto, o valor estimado por krigagem é obtido por meio da média ponderada em observações vizinhas, sendo que os ponderadores λ_i são obtidos por meio da multiplicação das matrizes das semivariâncias entre os valores vizinhos observados e das semivariâncias entre os vizinhos e o ponto a ser estimado. Nesta condição tem-se que observações localizadas a distâncias relativamente menores do valor a ser estimado terão pesos maiores que aquelas situadas a distâncias maiores. As semivariâncias utilizadas na krigagem é obtida por meio do modelo ajustado, portanto deve-se ressaltar a importância de um ajuste criterioso do modelo de semivariograma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva

As análises exploratórias dos dados são apresentadas da Tabela 1.

Tabela 1 – Análise descritiva dos atributos físicos dos solos, da bacia do Alto Taquari.

ANÁLISE DESCRITIVA	ADA (g.kg⁻¹)	Argila (g.kg⁻¹)	Silte (g.kg⁻¹)	Areia Total (g.kg⁻¹)	Areia Grossa (g.kg⁻¹)	Areia Fina (g.kg⁻¹)	GF (g.kg⁻¹)	CH (mm.h⁻¹)
Mínimo	1	30	1	62	6	37	50	22,08
Máximo	204	723	232	956	505	899	868	101,08
Mediana	25	100	30	880	245	555	235	52,16
Média Aritmética	38,2	174,89	41,59	780,97	246,80	532,80	247,79	54,48
Desvio Padrão	27,4	185,87	40,92	226,27	98,88	151,37	198,65	16,91
Coefficiente de Variação	71,82%	106,28%	98,38%	28,97%	40,06%	28,41%	80,17%	31%
Assimetria	1,8	2,02	2,17	-2,05	-0,70	-1,79	1,63	0,24
Curtose (g2)	4,9	2,86	3,90	2,93	0,47	2,57	2,36	-0,79

*ADA – Argila Dispersa em Água; GF – Grau de Flocculação; CH – Condutividade Hidráulica;

Ao avaliar a Tabela 1, nota-se valores relativamente altos para os coeficientes de variação para as variáveis Argila Dispersa em Água, Argila, Silte e Grau de Flocculação em relação as demais. Ou seja, a variabilidade dos dados analisados é muito alta para essas variáveis, o que também pode ser percebido pela alta diferença entre os valores de mínimo e máximo, que é denominado amplitude. Logo pode-se afirmar que existe possibilidade de ocorrência de valores atípicos (outliers) nas amostras de solos analisadas.

Os coeficientes de assimetria e de curtose que se afastam do valor zero indicam que as distribuições de probabilidades associadas aos atributos analisados tendem a se afastar da normal. Conforme argumenta Guimarães (2000), na análise geoestatística não há a premissa de normalidade para sua aplicação, entretanto, para o uso do estimador de semivariância clássico, que é o estimador de Matheron (Eq. 1), é desejável que os dados tendam para uma distribuição simétrica.

De acordo com o autor supracitado e com Yamamoto e Landim (2013), se os

dados amostrais apresentam assimetria acentuada é necessário utilizar: ou um estimador robusto para a determinação das semivariâncias; ou realizar transformação de dados, como por exemplo a transformação logarítmica; ou ainda utilizar a variável indicadora, que foi o objeto do presente estudo.

As Figuras 3, 4, 5 e 6 respectivamente são os gráficos de boxplot que, usualmente, é utilizado para representar o comportamento das variáveis analisadas.

Nota-se, no geral, a presença de diversos valores considerados atípicos, pelo critério estatístico, para os atributos analisados. A exceção ocorreu para a condutividade hidráulica saturada (Figura 5) que apresentou todos os valores dentro dos limites de valores considerados típicos. As variáveis ADA, Argila, Silte e GF apresentaram como outliers valores relativamente altos nessas variáveis. Para a Areia Total todos os outliers situaram-se abaixo do limite inferior e para a Areia Grossa e Areia Fina observou-se outliers em ambos extremos.

Cabe ressaltar que, como mencionado anteriormente, esses valores atípicos podem comprometer, de forma significativa, as estimativas de semivariâncias usando o estimador clássico, inviabilizando o ajuste adequado de modelos teóricos às semivariâncias experimentais. As Figuras 3,4,5 e 6 podem ser vistas a seguir.

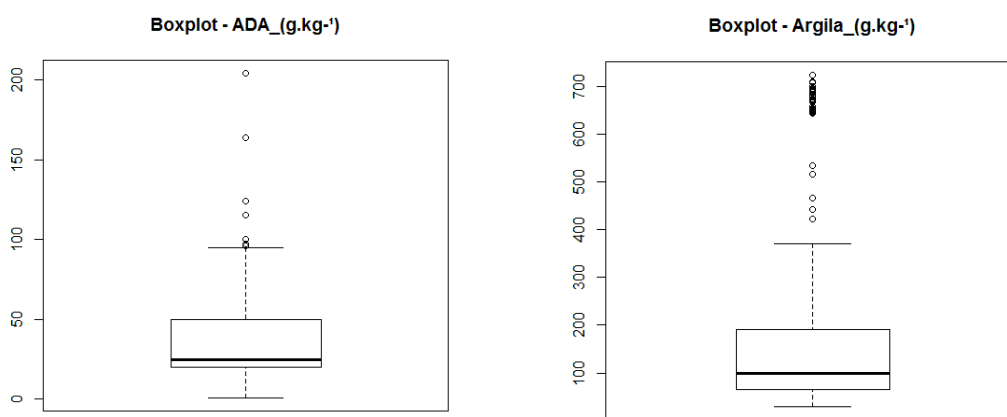


Figura 3 – Boxplot das variáveis Argila Dispersa em Água (ADA) e Argila, nos solos da Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

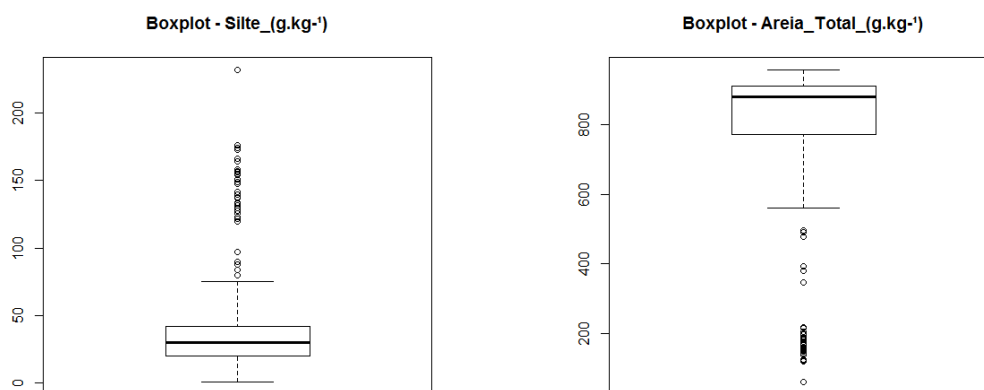


Figura 4 – Boxplot das variáveis Silte e Areia Total, nos solos da Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

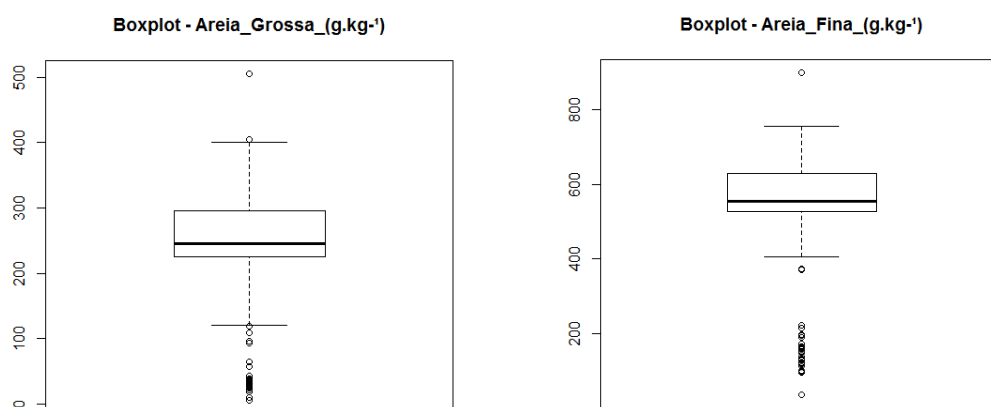


Figura 5 – Boxplot das variáveis Areia Grossa e Areia Fina, nos solos da Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

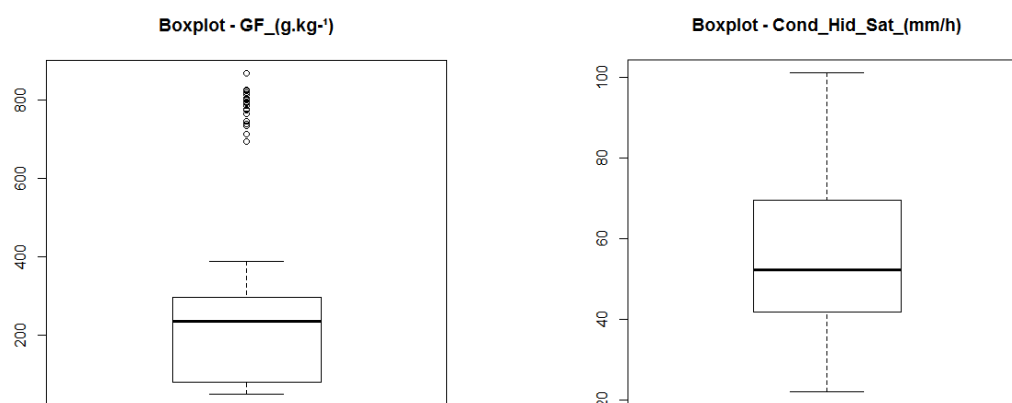


Figura 6 – Boxplot das variáveis Areia Grossa e Areia Fina

Tendo como base as análises descritivas notam-se que, no geral, existe a tendência das variáveis analisadas se afastarem da distribuição simétrica e com a presença de valores atípicos. Este fato pode estar associado à dimensão da área avaliada (aproximadamente 52 ha) que pode apresentar diferentes características como: diferença na classe de solos, diferença no uso agrícola, dentre outros aspectos. Portanto, nesta situação, o ajuste de modelos de semivariogramas com os dados originais pode apresentar dificuldades e, desta forma, optou-se por adotar a análise da dependência espacial por meio das variáveis indicadoras, seguindo o que é descrito em Yamamoto e Landim (2013).

4.2. Análise Geoestatística

Na Tabela 2 são apresentados os modelos ajustados de semivariogramas da indicatriz para cada atributo com as respectivas estimativas do efeito pepita (C_0), Contribuição (C), alcance teórico (a_0), alcance prático (a) e grau de dependência espacial (GDE), patamar ($C_0 + C$).

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados e do grau de dependência espacial (GDE), para atributos físicos dos solos, da Bacia do Alto Taquari.

Atributo físico do solo	Modelo estimado	Efeito Pepita (C_0)	Contribuição (C)	Patamar ($C_0 + C$)	Alcance Teórico (a_0)	Alcance Prático (a)	GDE
ADA*	Exponencial	0,2106	0,0547	0,2653	0,0556	0,2520	0,7938
Argila	Exponencial	0,1844	0,0716	0,256	0,0361	0,2432	0,7203
Silte	Exponencial	0,1982	0,0528	0,251	0,0228	0,23845	0,7896
Areia Total	Exponencial	0,1854	0,0705	0,2559	0,0285	0,2431	0,7245
GF*	Exponencial	0,1875	0,0648	0,2523	0,0117	0,2397	0,7432
Areia Grossa	Exponencial	0,2038	0,0518	0,2556	0,0264	0,2482	0,7431
Areia Fina	E.P.P	0,00	-	-	-	-	-
CH	E.P.P	0,03	-	-	-	-	-

*ADA - Argila Dispersa em Água; *GF - Grau de Flocculação; *E.P.P – Efeito Pepita Pura; *CH – Condutividade Hidráulica Saturada.

Nota-se que quando houve dependência espacial o modelo ajustado para os respectivos atributos físicos dos solos foi o exponencial.

Para os atributos Argila Dispersa em Água apresentou o maior alcance prático (0,2520) que indica que para esta variável a dependência entre as amostras ocorrem até essa distância. Já o menor alcance, dentre os atributos que apresentaram dependência, foi para o Silte que mostra influencia recíproca entre as amostras a distâncias pouco, um pouco menores em relação aos demais atributos. Entretanto nota-se que todos os modelos que foram ajustados apresentaram alcance da dependência espacial próximos entre si o que indica que a continuidade espacial desses atributos é semelhante.

Para os atributos Areia Fina e Condutividade Hidráulica Saturada, observou-se efeito pepita puro, portanto não existiu dependência espacial entre as amostras considerando-se o esquema de amostragem adotado.

Ao analisar o grau de dependência (GDE), verifica-se que para as variáveis que possuem correlação espacial os seus respectivos GDE são aproximadamente semelhantes. Segundo Cambradella et al (1994) os GDE são considerados fracos para as variáveis Argila Dispersa em Água e Silte e moderado para Argila, Areia Total e Grau de Floculação e Areia Grossa. A dependência fraca pode indicar que a relação de similaridade entre as amostras deve ocorrer, nesta área, a distâncias inferiores a menor distância amostrada, ou seja, em trabalhos futuros, para se detectar a dependência espacial com maior acurácia será necessário que as amostras sejam coletadas a distâncias menores entre si.

O semivariograma da indicadora com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem da indicadora, para a Argila Dispersa em Água, é apresentado na Figura 7. Nota-se as áreas com probabilidades superiores a 60% de ocorrência de $ADA < Md$ são relativamente menores que aquelas com probabilidades inferiores a 60%. Entretanto cabe ressaltar que essas áreas com maiores probabilidades podem contribuir com problemas ambientais significativos na bacia, como erosão e assoreamento dos rios e nascentes. A seguir visualiza-se a Figura 7 citada.

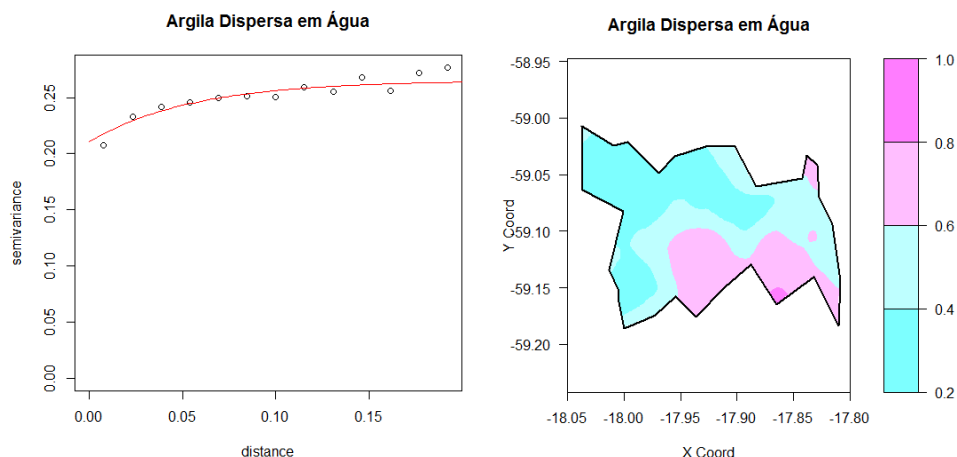


Figura 7 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Argila Dispersa em Água para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

É apresentado na Figura 8 o semivariograma da indicadora com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem da indicadora, para a Argila. Nota-se as áreas com probabilidades superiores a 60% de ocorrência de Argila < Md estão localizadas em sua maioria na região inferior direita do mapa com algumas localidades com probabilidade próxima de 100%, porém o oposto também ocorre na região superior esquerda do mapa, que possui probabilidades inferiores de 20% de ocorrência de Argila < Md. Assim vale ressaltar que essas áreas com menores probabilidades podem ter tendência a serem de solo mais compactado que as demais. Abaixo pode se visualizar a Figura 8 analisada.

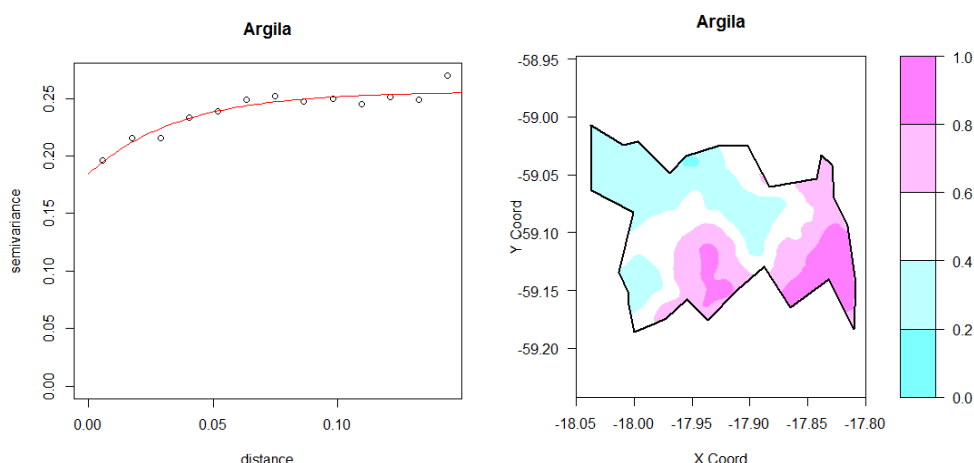


Figura 8 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Argila, para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari..

É apresentado na Figura 9 o semivariograma da indicadora para Silte com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem. Percebe-se que as áreas com probabilidades superiores a 60% de ocorrência de Silte < Md estão localizadas a direita

do mapa e inferior onde apenas os extremos do mapa e a parte superior possuem probabilidades de Silte > Md. Logo ressalta que essas áreas com menores probabilidades podem ter tendência a serem de solos siltosos que tendem a ser bastante erosíveis pois possuem partículas que não se agregam, são pequenas e leves. Logo em sequência visualiza-se o semivariograma e o mapa de Krigagem na Figura 9.

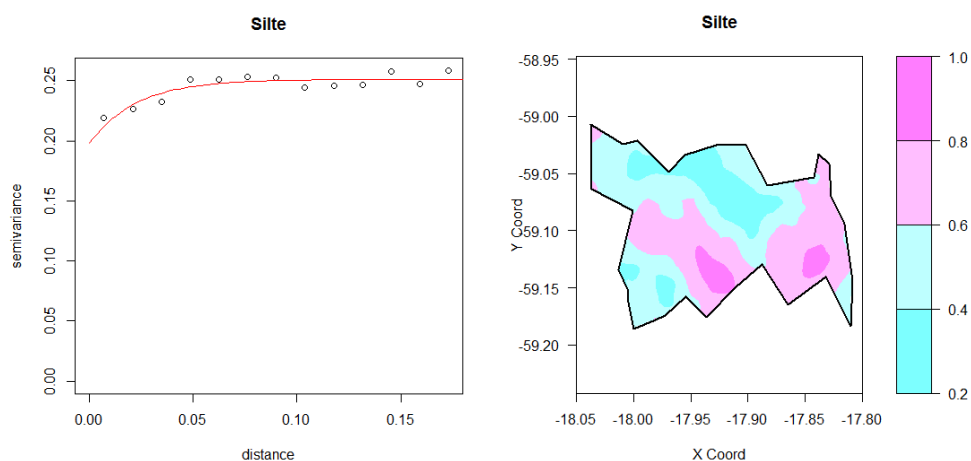


Figura 9 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Silte, para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

Na Figura 10 é apresentado o semivariograma da indicadora para a Areia Total com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem. Percebe-se que as áreas com probabilidades superiores a 60% de ocorrência de Areia Total < Md estão localizadas esquerda do mapa a direita do mapa e inferior central. Nota-se que para a variável Areia Total existe um comportamento diferente das demais, com probabilidades superiores de Areia Total > Md sendo localizadas com maiores proporções a direita do mapa. Logo, pode-se visualizar a Figura 10 logo a seguir.

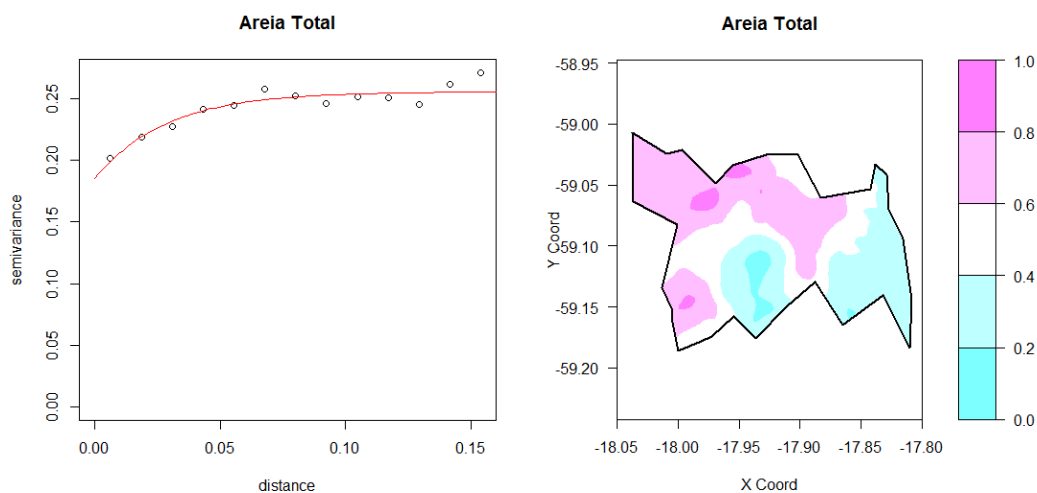


Figura 10 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Areia Total, para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

Na Figura 11 é apresentado o semivariograma da indicadora para o Grau de Floclulação com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem. Percebe-se que as áreas com probabilidades superiores a 40% de ocorrência de Grau de Floclulação $< M_d$ são encontradas em quase todo o mapa, que por sua vez também apresenta poucas regiões com o comportamento de Grau de Floclulação $> M_d$. Também percebe-se que o comportamento da variável em comparação a demais é atípico, com grande variação em relação ao comportamento do mapa. A seguir visualiza-se a Figura 11 citada anteriormente.

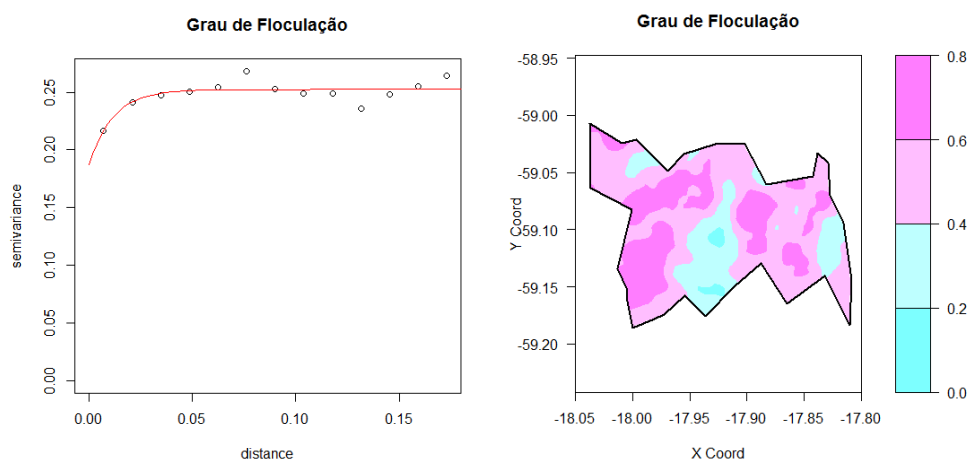


Figura 11 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Grau de Flocluação para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

É apresentado na Figura 12 o semivariograma da indicadora para a Areia Grossa com o respectivo mapa gerado por meio da krigagem. Percebe-se que as áreas com probabilidades superiores a 50% de ocorrência de Areia Grossa $< M_d$ estão localizadas a esquerda e superior no mapa. Nota-se que para a variável Areia Grossa existe um comportamento diferente das demais, com probabilidades superiores de Areia Total $> M_d$ sendo localizadas com maiores proporções a direita do mapa. Logo a seguir visualiza-se a Figura 12.

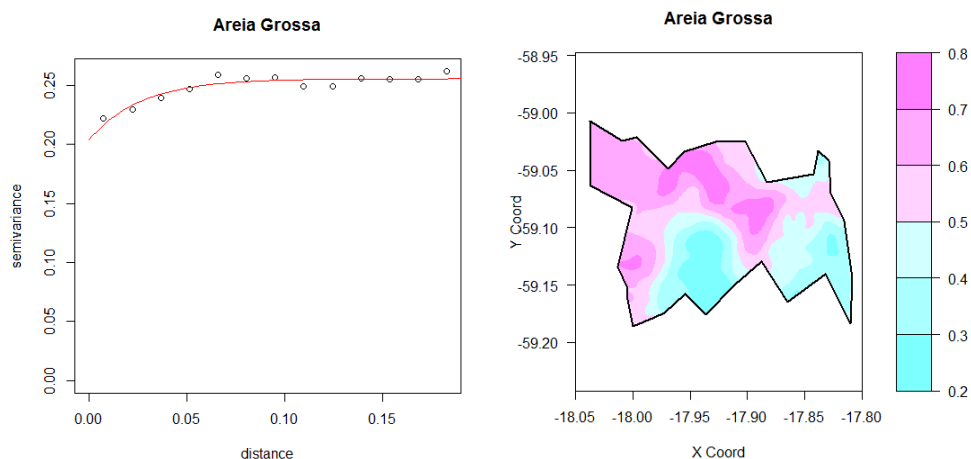


Figura 12 – Semivariograma da Indicadora de modelo exponencial e mapa de Krigagem de Areia Grossa para a Bacia Hidrográfica do Alto Taquari.

Na Figura 13 é apresentado os semivariogramas das variáveis Areia Fina e Condutividade Hidráulica que apresenta o efeito denominado como Efeito Pepita Puro, ou seja, que não possuem correlação espacial e que segundo Yamamoto e Landim (2013) esse fenômeno é representado por um fenômeno de transição com patamar igual ao efeito pepita e amplitude pequena em relação as distâncias das observações amostrais, assim visualiza-se na Figura 13 a seguir os semivariogramas.

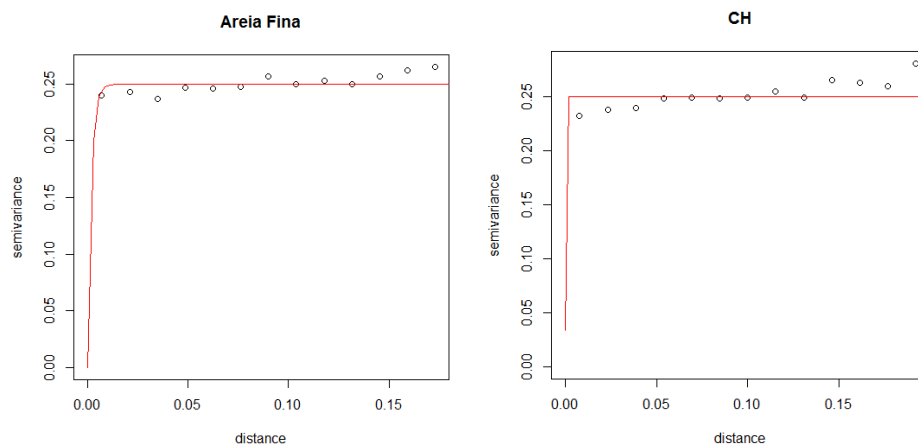


Figura 13 – Semivariogramas das Indicadoras Areia Fina e CH (Condutividade Hidráulica) de efeito pepita puro.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que os atributos físicos do solo Argila Dispersa em Água, Argila, Silte, Areia Total, Areia Grossa e Grau de Flocculação apresentaram dependência espacial, sendo a mesma de caráter moderado ou fraco, nas quais foram descritas pelo modelo exponencial ao se utilizar a variável indicadora com ponto de corte na mediana. Entretanto o atributo físico do solo Areia Fina e para Condutividade Hidráulica Saturada não apresentaram independência espacial.

Os mapas de Krigagem estimados (Figura 7 a 12) permitem visualizar as áreas mais propensas de ocorrência de valores abaixo da mediana. Logo, a metodologia geoestatística aplicada a variável dicotômica, na região das nascentes do rio Araguaia e, pode contribuir com decisões de manejos sustentáveis que contribuam com a preservação do meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos, 2005.** (Apostila). https://www.unitins.br/Cursos/EAD/cienciascontabeis/arquivos/Referencias_Bibiligrافیcas.pdf . Último acesso em 22/12/2017

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

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, n. 2, p. 1501-1511. 1994.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A.; PEREIRA, A.S. Caracterização das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta de gestão sustentável. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 20p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Tese (Doutorado).** FEAGRI/UNICAMP. Campinas, 2000. 85 p.

Portal Action <http://www.portaction.com.br/>. Último acesso em 22/12/2017

Portal da Educação <<https://www.portaleducacao.com.br/>. Último acesso em 21/12/2017

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P.. **GeoR: a package for geostatistical analysis.** **R-News**, 1:15-18, 2001.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística.** 7. ed. Rio de Janeiro. 1999

VEIGA, N.G., VILHENA, E.R., LUNA, W.L.V., CARNEIRO, C.J.R., RODRIGUES, L. P. S., GASPARETTO, D. Estudo Ecoepidemiológico da Doença de Chagas, nos Municípios de Barcarena e Abaetetuba-Pa, no Período de 2000 a 2006. In: Congresso Brasileiro de Saúde Coletiva, IX, 2009, Recife-PE, **CD de Anais do IX Congresso Brasileiro de Saúde Coletiva 2009**, Recife-PE: ABRASCO, 2009. Nº9819, p. 108-109.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**. Berkeley, V. 31, n. 3, p. 75, 1983.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações.** Oficina de Texto. 2013, 216 p.

