

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO SOLO EM UM TALHÃO DE LARANJA: AMOSTRAS EM GRIDES REGULARES

Lucas Santana da Cunha<sup>1</sup>

## RESUMO

Todas as atividades que giram em torno dos conceitos da agricultura de precisão visam o gerenciamento da lavoura considerando a sua desuniformidade e, por isso, utilizam técnicas otimizadoras de insumos, que permitem diminuição nos custos de produção. Nesse trabalho, a condutividade elétrica do solo foi proposta como uma maneira alternativa de se avaliar a variabilidade espacial deste, e a partir dela, definir-se as unidades de gerenciamento da área em estudo, através do mapa de predição. A área experimental está localizada na Fazenda Quatrirmãs, no município de Botucatu-SP, de coordenada geográfica 48°39'2,9''O (sede), e consta de um talhão de 25,7 hectares, onde foi plantada a variedade de laranja Rubi em 2003. Duas safras agrícolas (2008/2009 e 2009/2010) dos pomares foram acompanhadas. Foram feitas três amostragens em malhas regulares dos dados originais: G2000 (aproximadamente dois mil pontos), G500 (aproximadamente 500 pontos) e G200 (aproximadamente 200 pontos). Os resultados não mostraram padrão espacial para a amostra de menor tamanho. Os mapas de predição das amostras G2000 e G500 foram muito parecidos.

**Palavras chave:** *Agricultura de precisão, Condutividade Elétrica, geoestatística, geoR.*

## INTRODUÇÃO

Todas as atividades que giram em torno dos conceitos da agricultura de precisão visam o gerenciamento da lavoura considerando a sua desuniformidade e, por isso, utilizam técnicas otimizadoras de insumos, que permitem diminuição nos custos de produção. Técnicas como a aplicação localizada de fertilizantes, defensivos agrícolas e novas formas de monitoramento de características dos solos e de outros fatores de produção fornecem informações que permitem um melhor gerenciamento da lavoura e, em última instância, resultam num maior rendimento econômico por área cultivada.

Com o intuito de determinar essas unidades de gerenciamento, vários métodos têm sido propostos, envolvendo mapeamento da produtividade, da topografia, de

imagens do dossel das culturas, das propriedades físico-químicas do solo, condutividade elétrica e de outras.

A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem em transmitir (conduzir) corrente elétrica. Segundo Molin e Castro (2006), a condutividade elétrica do solo depende de vários fatores, e dentre eles estão: teor de água, porcentagem de argila, material de origem do solo, etc.

O solo pode conduzir corrente elétrica através da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos, e através dos cátions trocáveis que residem perto da superfície de partículas de solo carregadas e são eletricamente móveis em vários níveis (Nadler & Frenkel, 1980).

Nesse trabalho, a condutividade elétrica do solo foi proposta como uma maneira alternativa de se avaliar a variabilidade espacial deste, e a partir dela, definirem-se as unidades de gerenciamento da área em estudo, através do mapa de predição. Outro objetivo proposto é verificar se com uma amostragem menor de pontos da área experimental, podemos tirar as mesmas conclusões da amostra toda.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho teve início em junho de 2008 com as atividades de coleta de dados a campo, nas áreas experimentais de propriedade da Citrosuco Paulista (Grupo Fischer). Duas safras agrícolas (2008/2009 e 2009/2010) dos pomares foram acompanhadas, envolvendo as operações de amostragens de solo e folha, colheita e adubações.

A área experimental está localizada na Fazenda Quatrimãs, no município de Botucatu-SP, de coordenada geográfica 48°39'2,9''O (sede), e consta de um talhão de 25,7 hectares. A área tem altitude média de 745m, onde o solo predominante é o argiloso. Os pomares de laranja, variedade Rubi, que é identificada como precoce na classificação de maturação do fruto, foram plantados em 2003.

Na Figura 1 está ilustrado o contorno da área experimental e as linhas referentes à rua central. A área é caracterizada como de fileiras de plantio bastante sinuosas e espaçamento tradicional diferente da tendência atual, de adensamento dos pomares.

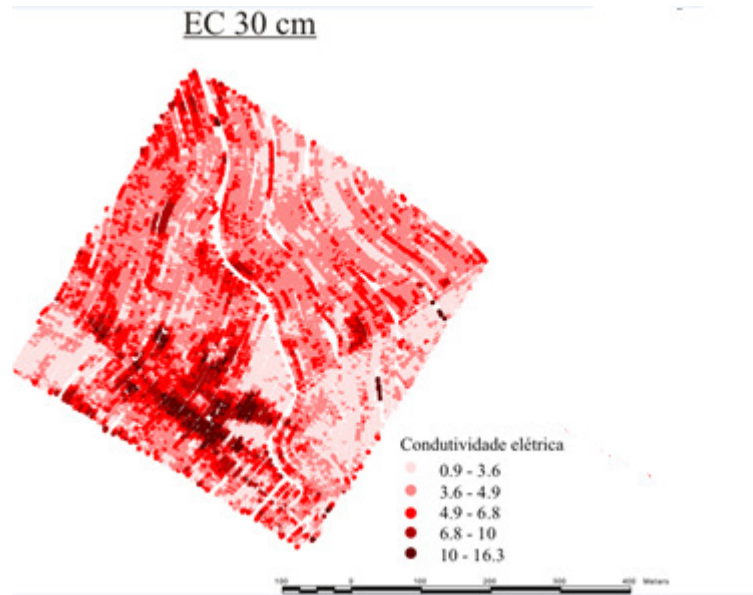


Figura 1 - Disposição espacial das áreas experimentais e mapa altimétrico.

A condutividade elétrica do solo foi medida em uma profundidade de 30cm, como visto na Figura 1.

Os sensor de condutividade elétrica utilizado foi o “Veris”, que está ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Equipamento comercial “Veris”: possui sensores de condutividade elétrica do solo.

Devido à grande quantidade de dados coletados, foram feitas amostras dos dados originais com o intuito de diminuir essa quantidade, sem que percamos muita informação. Sendo assim, foram feitas as seguintes amostragens dos dados originais em malhas regulares: G2000 (aproximadamente duas mil amostras), G500 (aproximadamente quinhentas amostras) e G200 (aproximadamente duzentas amostras). Tais amostras em malhas regulares foram programadas no software estatístico R elaborado por R Development Core Team (2011).

Os dados foram analisados sob a abordagem de modelos geoestatísticos (DIGGLE e RIBEIRO JR., 2007), utilizando-se a estatística clássica.

O modelo utilizado foi o modelo linear gaussiano dado por:

$$Y(X_i) = \beta + S(X_i) + \varepsilon_i$$

em que  $Y(X_i)$  é a condutividade elétrica na linha  $i$  da matriz de coordenadas  $X$ ,  $\beta$  é a média geral;  $S(X_i)$  é um processo gaussiano com função de correlação Exponencial com parâmetro de variância  $\sigma^2$ , parâmetro de alcance  $\phi$ ;  $\varepsilon_i$  é o ruído aleatório normalmente distribuído com média zero e variância  $\tau^2$ . Vale ressaltar que a escolha do modelo Exponencial foi com base no variograma empírico.

Assim, buscou-se, desta forma, ajustar os parâmetros do modelo pelo método da máxima verossimilhança para os dados originais e amostrados em malhas regulares, utilizando o pacote geoR, disponível no software R.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise exploratória para verificar a normalidade e possível padrão espacial dos dados originais e para as amostras g2000, g500, g200 estão apresentadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6 respectivamente.

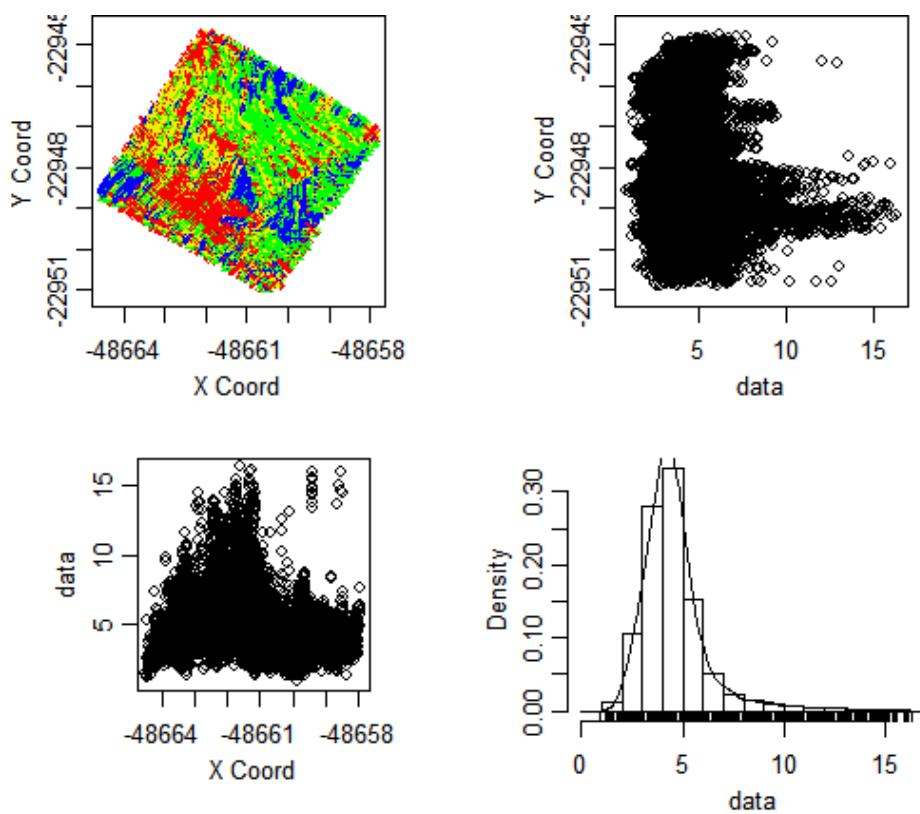


Figura 3 – Análise exploratória dos dados para verificar a normalidade e possível padrão espacial considerando todos os dados.

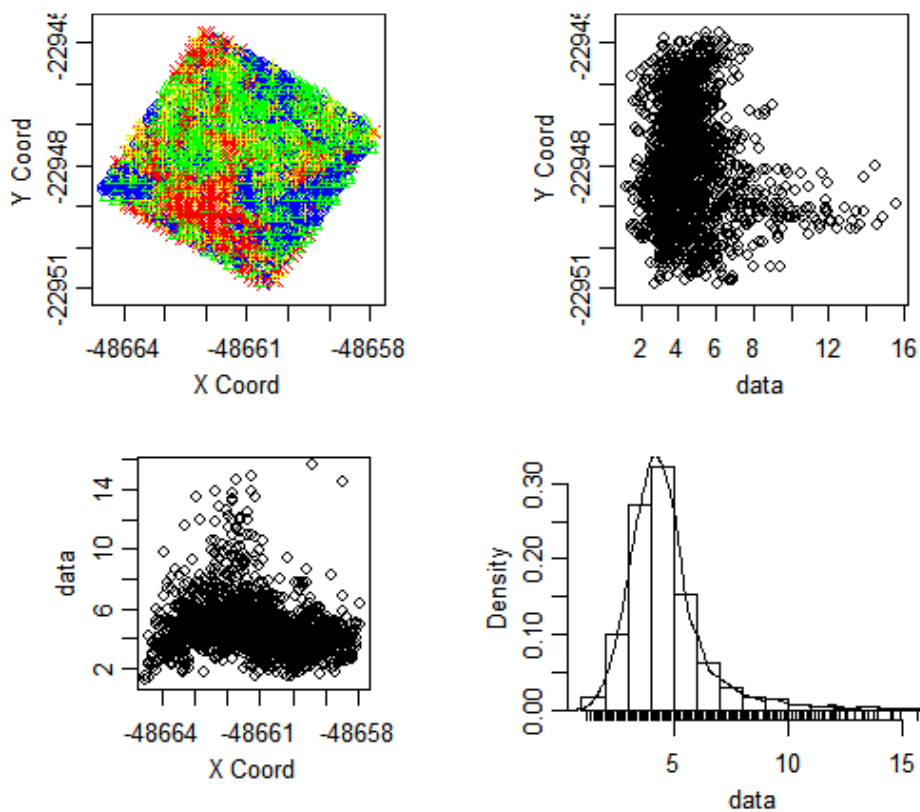


Figura 4 – Análise exploratória dos dados para verificar a normalidade e possível padrão espacial considerando os dados amostrados da malha regular G2000.

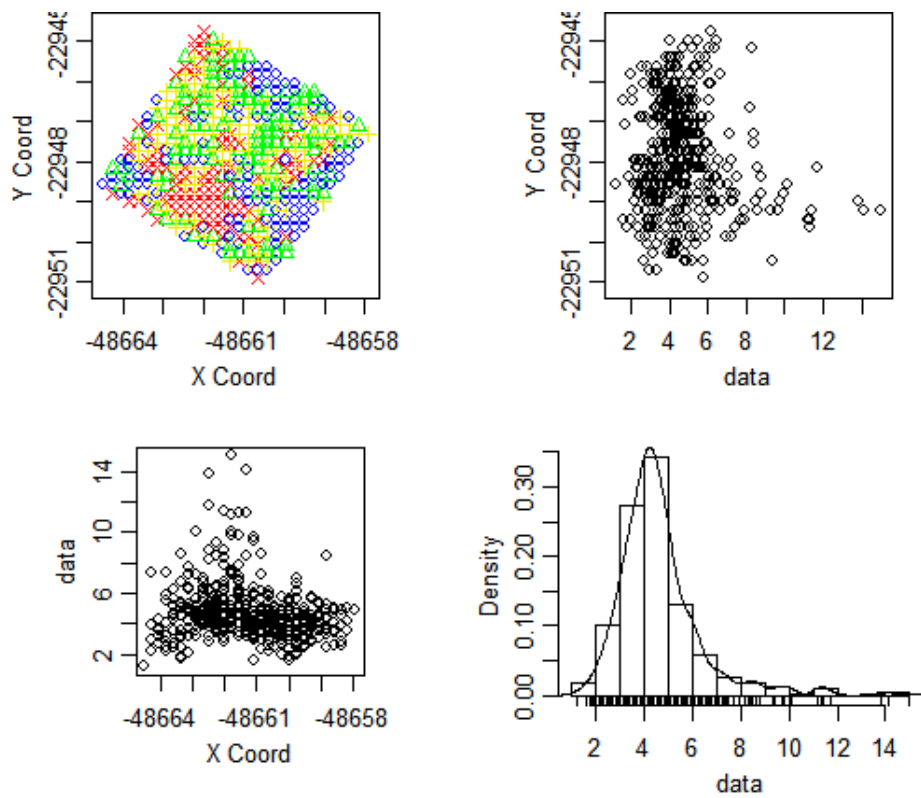


Figura 5 – Análise exploratória dos dados para verificar a normalidade e possível padrão espacial considerando os dados amostrados da malha regular G500.

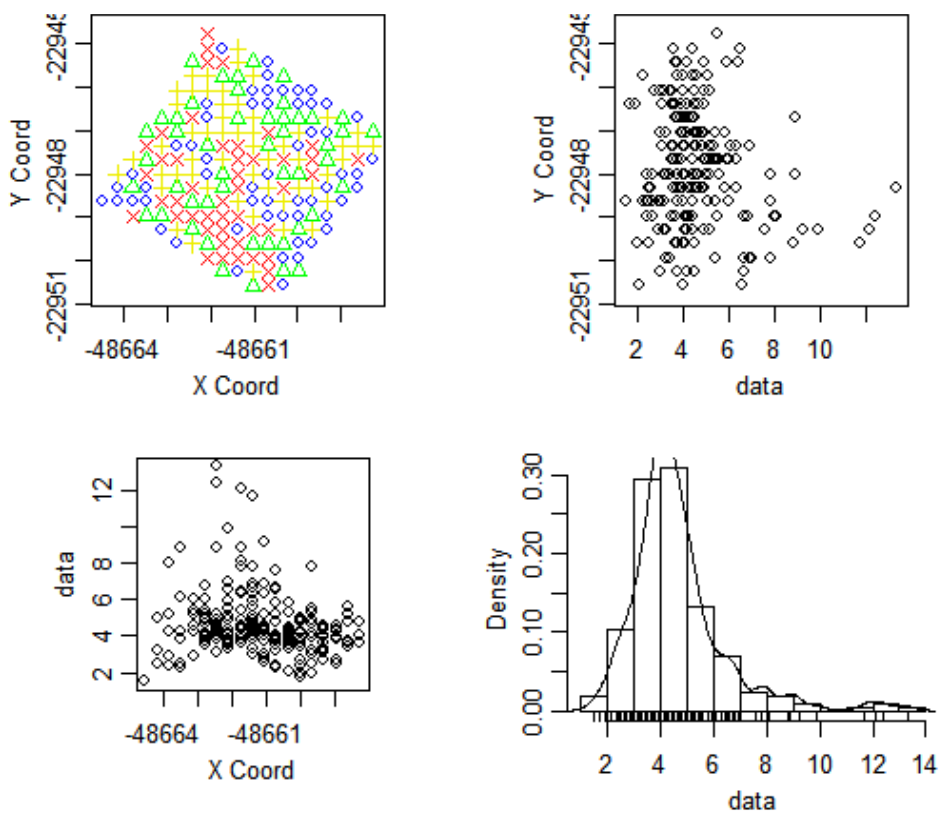


Figura 6 – Análise exploratória dos dados para verificar a normalidade e possível padrão espacial considerando os dados amostrados da malha regular G200.

Verifica-se para ambos os casos, que há normalidade nos dados, e mais, há indícios de haver uma dependência espacial. Verifica-se também que os gráficos são muito parecidos, ou seja, diminuindo o tamanho dos dados de forma ordenada, há indícios de não ter muita perda de informação.

Na Figura 7 têm-se os testes de Monte Carlo para confirmar há dependência espacial nos dados (*envelope-plot*). Observa-se dos gráficos, que todos possuem dependência espacial, com exceção da malha regular g200 que os valores da semivariância em função da distância estão dentro do intervalo tracejado. Ou seja, para essa malha regular não se encontra dependência espacial e sendo assim, desconsideramos essa malha.

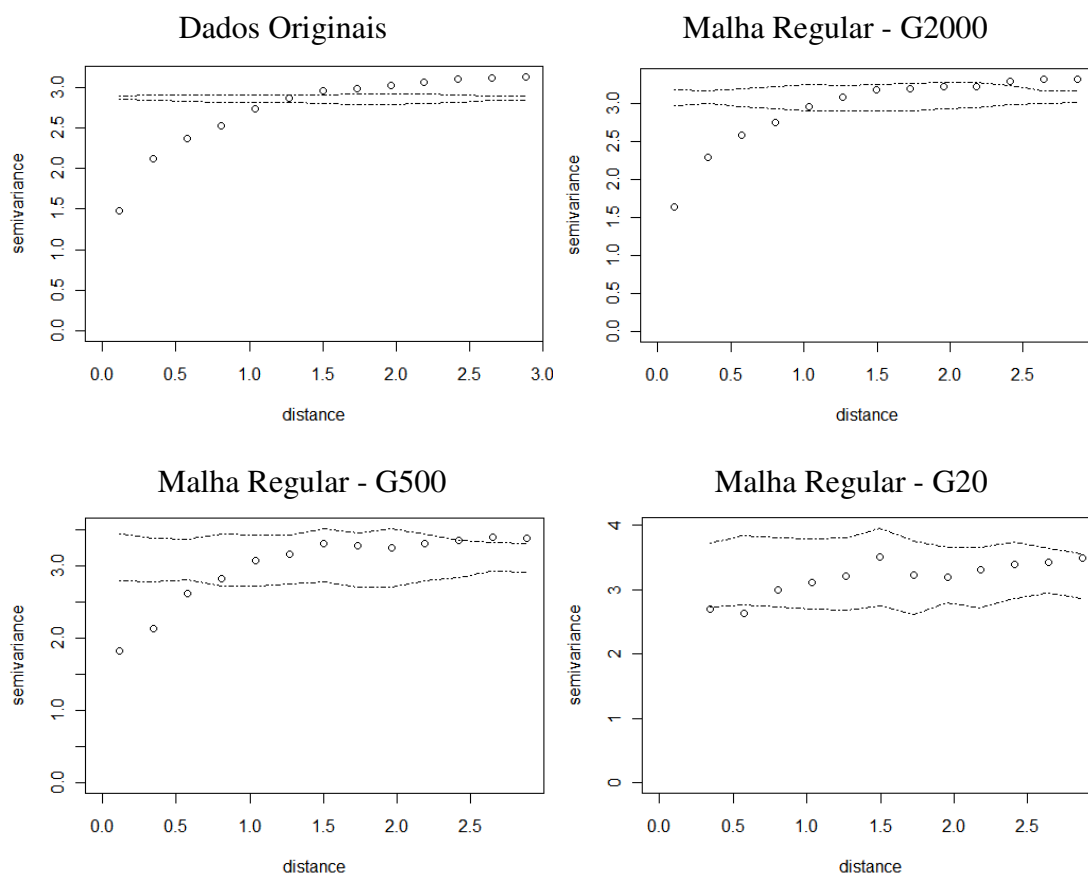


Figura 7 - Teste de Monte Carlo para os quatro conjunto de dados: dados originais, dados amostrados em malhas regulares.

Devido à grande quantidade de dados, não foi possível ajustar o modelo pelo método da máxima verossimilhança considerando todo o conjunto de dados (dados originais). Assim, encontra-se na Tabela 1, as estimativas dos parâmetros para o modelo

exponencial ajustado pelo variograma para o conjunto de dados originais e o ajuste pelo método da máxima verossimilhança para o conjunto de dados amostrados em malhas regulares.

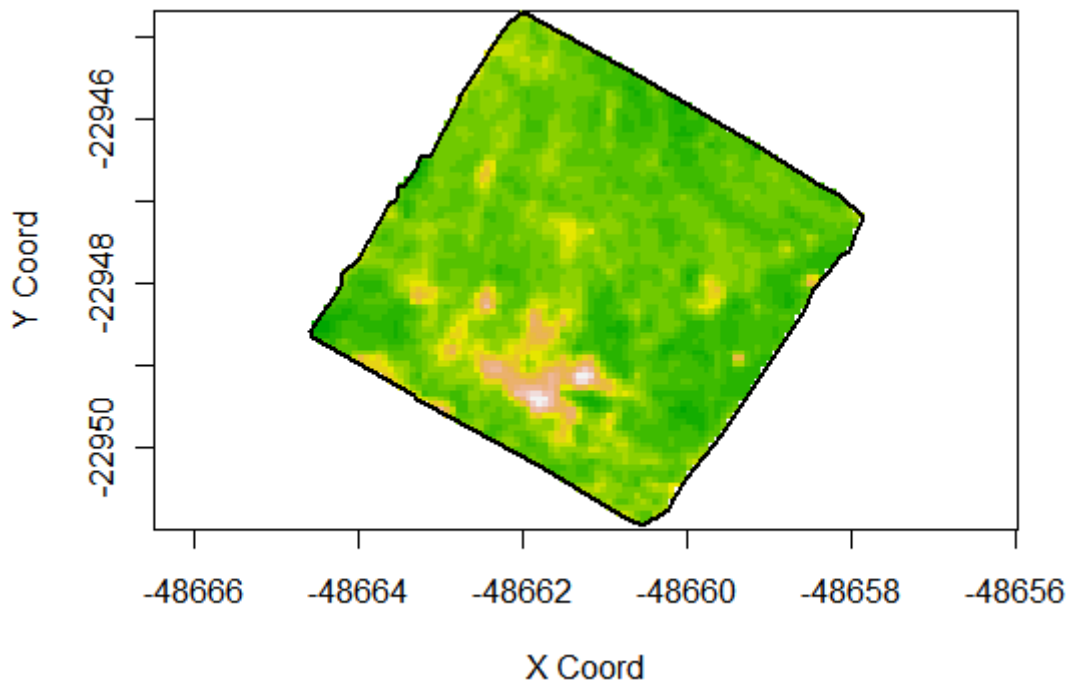
Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros pelo semivariograma para os dados originais e estimativas dos parâmetros via estimador de máxima verossimilhança para as amostras regulares para o modelo Exponencial.

	$\sigma^2$	$\phi$	$\tau^2$
Dados Originais	1,82	0,71	1,33
G2000	2,6535	0,2401	0,4211
G500	1,8477	0,5792	1,2292

Na Figura 8 e 9 observa-se os mapas de predições e os mapas de incertezas, respectivamente, para os dados amostrados. Novamente, devido à enorme quantidade de dados, também não foi possível fazer o mapa de predição e incerteza considerando todo o conjunto de dados (dados originais).



**KRIGAGEM  
MALHA REGULAR G60**



**KRIGAGEM  
MALHA REGULAR G60**

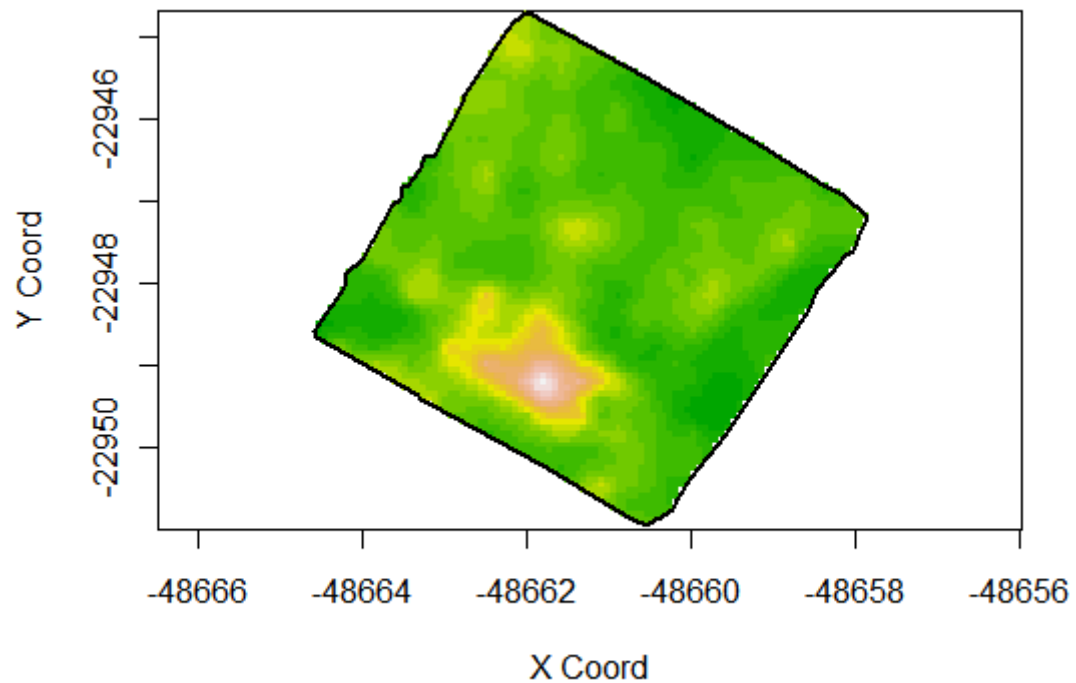
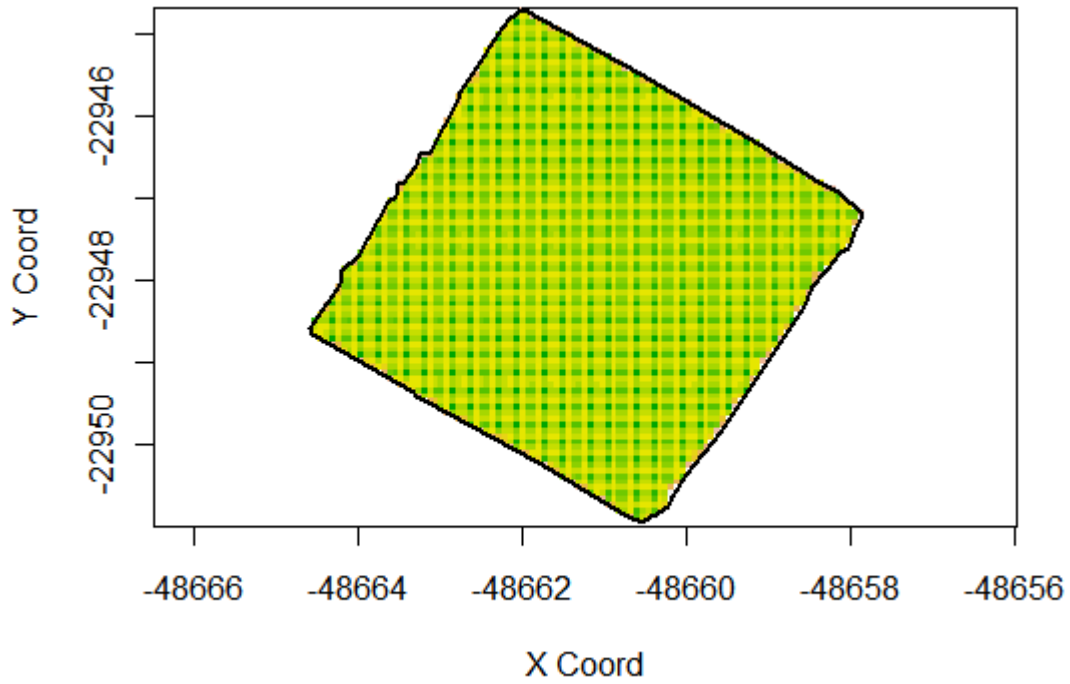


Figura 8 - Mapa dos valores esperados (krigagem) para os dados amostrados nos grides regulares G2000 E G500. As cores mais quentes representam maiores valores esperados de Condutividade elétrica.

**ERRO-PADRÃO  
MALHA REGULAR G60**



**ERRO-PADRÃO  
MALHA REGULAR G30**

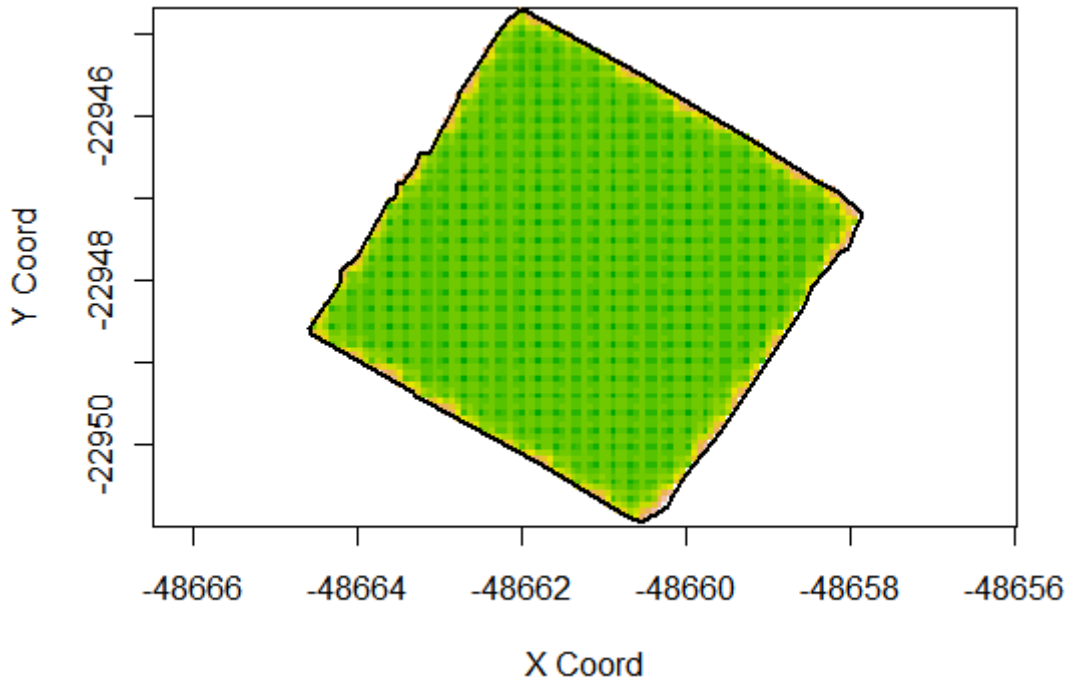


Figura 9 - Mapa dos erros-padrão dos valores esperados para os dados amostrados nos grids regulares G2000 e G500, respectivamente. As cores mais quentes representam erros-padrão menores.

Está nítido que os mapas de predição são muito parecidos, ou seja, considerando uma amostra de uma malha regular de tamanho dois mil, tem-se o mesmo mapa de predição considerando uma malha regular de tamanho quinhentos. Isso é confirmado pelo mapa de erros-padrão.

## CONCLUSÕES

Não foi possível ajustar o modelo espacial, com função de covariância exponencial para o conjunto de dados original, devido ao tamanho da amostra.

Os mapas de predição das amostras em malhas regulares do conjunto de dados original são muito parecidos.

Em próximos estudos sobre a condutividade elétrica nessa área, pode-se amostrar um número menor de dados, economizando assim, tempo e dinheiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOLIN, J. P.; CASTRO, Cesar Nunes de . **Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique.** *Scientia Agricola*, v. 65, p. 567-573, 2008.

NADLEER, A; FRENKEL, H. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, n.5, p. 1216-1221, 1980.

R Development Core Team (2011). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIBEIRO JR, P. J.; DIGGLE, P. J. , geoR: A package for geoestatistical analysis. *R-NEWS*, v. 1, n.2, p. 15-18, 2001