

**Dependência Espacial dos Atributos  
Químicos do Solo em um  
Agroecossistema de Arroz Irrigado**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento***224

## **Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado**

Lúcia Elena Coelho da Cruz  
José Maria Filippini Alba  
Clenio Nailto Pillon  
José Maria Barbat Parfitt

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Unidade Responsável**

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê e Sonia Desimon*

Revisão de texto: *Eduardo Freitas de Souza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Jaqueline Jardim (estagiária)*

Foto de capa: *Lúcia Elena Coelho da Cruz*

**1ª edição**

1ª impressão (2015): 50 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Clima Temperado

---

D419 Dependência espacial dos atributos químicos do solo em um agroecossistema de arroz irrigado / Lúcia Elena Coelho da Cruz... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 224)

1. Agricultura de precisão. 2. Solo. 3. Arroz irrigado.  
I. Cruz, Lúcia Elena Coelho da. II. Série.

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introdução</b> .....	9
<b>Material e Métodos</b> .....	10
<b>Resultados e Discussão</b> .....	12
<b>Conclusões</b> .....	22
<b>Referências</b> .....	24



# Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado

---

*Lúcia Elena Coelho da Cruz<sup>1</sup>*

*José Maria Filippini Alba<sup>2</sup>*

*Clenio Nailto Pillon<sup>3</sup>*

*José Maria Barbat Parfitt<sup>4</sup>*

## Resumo

O estudo da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura de precisão é indispensável para a caracterização da área e para a geração de mapas temáticos, os quais facilitam o entendimento do comportamento e da ocorrência dessas variáveis nas áreas estudadas, conseqüentemente, da interferência no processo de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial dos atributos químicos do solo e o comportamento desses atributos em duas profundidades diferentes em um agroecossistema de terras baixas. O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. O solo foi amostrado em uma malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10 m, formando uma malha de 100 pontos. As coletas foram realizadas em 2008 e 2010, nas profundidades 0,0 – 0,20 e 0,0

---

<sup>1</sup> Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Agronomia, pós-doutoranda da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Bacharel em Química, Dr. em Geoquímica, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, Dr. em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, Dr. em Solos, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

– 0,025m, respectivamente. Os atributos químicos (pH, P, K, Ca e Mg) foram analisados por meio da estatística clássica e a dependência espacial por meio da geoestatística. A distribuição espacial dos atributos (pH, Ca e Mg), nas duas profundidades estudadas (0,0 – 0,025 e 0,0 – 0,20m), demonstra uma relação espacial direta entre si e inversa ao P, o que se confirma pela análise do coeficiente de correlação de Pearson; o pH apresenta uma correlação positiva significativa com os atributos Ca e Mg e negativamente com o P. Esses resultados definem um comportamento estável em profundidade, para a área em estudo, mostrando a distribuição das linhas de contorno similar nas duas profundidades analisadas e permitindo melhor visualização. O estudo da dependência espacial dos atributos químicos do solo e o comportamento desses atributos em profundidades diferentes em um agroecossistema de arroz irrigado permitem conhecer e associar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo às exigências da cultura, sendo então definidas as zonas de manejo e classes de comportamento na área.

Termos para indexação: agricultura de precisão, fertilidade do solo, geoestatística

# Spatial Dependence of Chemical Attributes of Soil in a Rice Crop Agroecosystem

---

## Abstract

*Spatial variation is essential in precision agriculture in the way that geostatistics generates thematic maps in the crop area for understanding the behavior of agronomic productivity. This study evaluated the spatial dependence of soil chemical properties and the behavior of these attributes in two different depths in a lowland agro-ecosystem. The study was located at the Lowlands Experimental Station of the Embrapa Temperate Climate, in Capão de Leão, Rio Grande do Sul state. Soil was collected on a regular grid pattern with distance inter-sample of 10m distance, on full 100 points. Sampling depth was variable according to the year. Layer 0 to 0.20 m was collected in 2008 and a more superficial layer of 0 to 0.025 m in 2010. Chemical data (pH and content of P, K, Ca and Mg) were processed by classical statistical and geostatistical methods. From a spatial variation perspective, the pH and content of Ca and Mg show a direct spatial relationship to each other and reverse to P in the two depths studied (0.0 to 0.025 and 0.0 - 0.20m), fact confirmed by the correlation coefficients of Pearson, when the pH has a significant positive correlation with Ca and Mg attributes and negatively with P. These results define a stable behavior in depth, for the study area, showing the distribution of the contour lines of similar two depths analyzed and allowing better visualization. The study of spatial dependence*



*of soil chemical properties and the behavior of these attributes at different depths on an irrigated rice agroecosystem allows to know and associate the spatial distribution of soil chemical attributes the crop requirements, and then set the management zones and classes behavior in the field.*

*Index terms: precision agriculture, soil fertility, geostatistics*

## Introdução

O manejo da fertilidade do solo, na agricultura tradicional, baseia-se na determinação dos teores de nutrientes de amostras compostas (valores médios); de forma que a análise química do solo expressa um único resultado para todo um talhão, considerado uniforme. A potencial variabilidade existente é descartada, de maneira que todas as propriedades do solo são consideradas semelhantes dentro da área amostrada. Isso implica em aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras (CAVALCANTE et al., 2007).

A situação é insustentável em virtude da necessidade de melhorar o gerenciamento dos fatores de produção e uso racional dos insumos, derivando na redução de custos e passivos ambientais. Com históricos relevantes sobre o manejo da fertilidade do solo, alguns cientistas foram evoluindo o conceito de agricultura de precisão (AP), como (1) um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado do manejo das culturas (BALASTREIRE et al., 1998).

Sua principal diferença em relação aos métodos tradicionais de cultivo é o fato de tratar a área trabalhada considerando a variabilidade espacial e a temporal dos atributos dos solos e das plantas. (2) Segundo Dodermann e Ping (2004), a agricultura de precisão tem como principal conceito aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam. (3) Para Filippini Alba et al. (2009), trata-se de uma nova filosofia de prática agrícola, com a inserção das geotecnologias no meio rural, que são um conjunto de instrumentos, procedimentos e programas que abrangem aplicações em diversas áreas no contexto dos sistemas de posicionamento orientados por satélites, dos bancos de dados geográficos, dos sistemas de informação geográfica e do sensoriamento remoto. Acredita-se que todos os conceitos de agricultura de precisão chegam ao mesmo ponto de vista, em que

a agricultura de precisão é um sistema de produção agrícola que envolve o desenvolvimento e a adoção de técnicas de gestão, baseado no conhecimento com o objetivo principal de otimizar o uso dos recursos naturais, o uso de insumos, e a rentabilidade, visando à sustentabilidade.

Com frequência, na Agricultura de Precisão utiliza-se uma malha regular para gerenciar a informação, semelhante à geoestatística, uma das principais derivações das geotecnologias, cujo fundamento é o estudo da variabilidade espacial e a otimização do processo de transformação de informações pontuais em superfícies contínuas, ou seja, segundo uma malha regular (CLARK, 1984). O estudo da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura de precisão é indispensável para a caracterização da área e para a geração de mapas temáticos, os quais facilitam o entendimento do comportamento e da ocorrência dessas variáveis nas áreas estudadas, conseqüentemente, da interferência no processo de produção.

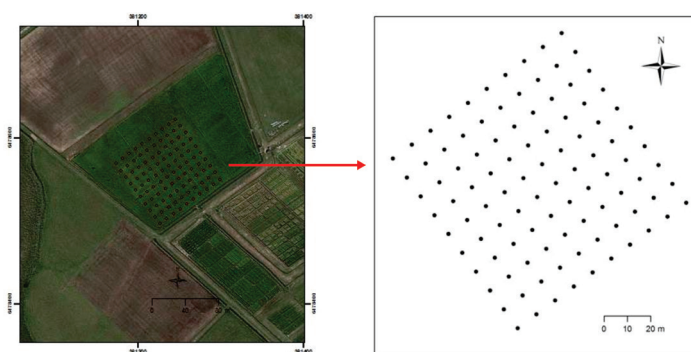
A geoestatística, segundo Vieira (2008), é a maneira mais correta para se verificar a presença de dependência espacial. A continuidade, ou dependência espacial, é estimada através do semivariograma. O método de interpolação, chamado krigagem, usa a dependência espacial entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência espacial dos atributos químicos do solo e o comportamento desses atributos, comparando duas profundidades diferentes em um agroecossistema de terras baixas.

## **Material e Métodos**

O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, (31° 49' 11" S - 52° 27' 57" O), em um Planossolo Háptico (EMBRAPA, 2006). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Wilhelm Köppen, é do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre

3 e 18 °C; f: em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C).

O solo foi amostrado nos pontos de cruzamento de uma malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10 m, formando uma malha de 100 pontos (Figura 1). As coletas foram realizadas em 2008, na profundidade 0,0 – 0,20m (PARFITT, 2009), e em 2010, na profundidade 0,0 – 0,025m. Nas duas épocas de amostragens foram coletadas amostras deformadas e com estruturas preservadas.



**Figura 1.** Grid – malha regular georreferenciada, com distância entre pontos de 10 m, formando uma malha de 100 pontos.

Fonte: Google Earth (Imagem).

As amostras de solo deformadas foram coletadas com pá-de-corte, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm, acondicionadas e encaminhadas para determinações químicas (pH, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Amostras com estruturas preservadas foram coletadas com anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo conforme a metodologia descrita em Embrapa (1997).

A área experimental foi tradicionalmente cultivada com arroz irrigado no sistema convencional, e a partir de janeiro de 2008 a área foi sistematizada (PARFITT, 2009); a coleta de 2008 foi realizada logo após a sistematização.

Os atributos químicos (pH, P, K, Ca e Mg) foram analisados por meio da estatística clássica (média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose), através do programa SPSS (2003), e a dependência espacial por meio da geoestatística. Os dados experimentais foram submetidos ao ajuste de modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano, utilizando o software GS+ (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004). O ajuste do modelo permite a estimativa dos parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0+C) e alcance (a). A escolha do modelo foi baseada no melhor coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e na menor soma de quadrados de resíduos (SQR). Os parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados foram submetidos à técnica de validação cruzada. A técnica também foi utilizada para analisar a precisão da interpolação dos dados por krigagem na construção dos mapas de variabilidade espacial. O recorte da área foi realizado através software ArcGIS (ESRI, 2008). A similaridade dos mapas gerados foi comparada por meio da análise de correlações de Pearson (SPSS, 2003).

## Resultados e Discussão

Os valores da média e mediana (Tabela 1), para todos atributos, estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria e curtose próximos de 0 e 3, as quais indicam a normalidade dos dados (CARVALHO et al., 2002).

Os atributos químicos (P e K) apresentaram valores de mínimos a máximos com grande amplitude, nas duas profundidades estudadas. Os teores de P variaram de 2,30 a 14,40 mg.dm<sup>-3</sup> (profundidade 0,0 – 0,025m), e de 0,43 a 13,56mg.dm<sup>-3</sup> (profundidade 0,0 – 0,20m). Os teores de K variaram de 28 a 68mg.dm<sup>-3</sup> (profundidade 0,0 – 0,025m), e de 15,13 a 53,40mg.dm<sup>-3</sup> (profundidade 0,0 – 0,20m). Essa grande amplitude de valores, desconsiderando a presença da variabilidade e considerando que todos os atributos do solo são semelhantes dentro da profundidade amostrada, expõe os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores como base para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo, podendo ocorrer áreas com quantidades

excessivas de fertilizantes ou com déficit (COELHO, 2003).

O coeficiente de variação (CV%) (Tabela 1) demonstrou variabilidade dos dados nas duas profundidades amostradas, principalmente para P, K e Mg, que apresentaram valores de médio (10 a 20%) a alto CV (>20%). Valores baixos de CV (<10%) foram observados para o pH, nas duas profundidades e para Ca, na profundidade 0,0 – 0,025m, classificação conforme Pimentel-Gomes (1984). Segundo Carvalho et al. (2002), em seus estudos sobre a geoestatística na determinação da variabilidade espacial, somente o pH nas diversas combinações manteve o coeficiente de variação baixo. Bottega et al. (2011) encontraram resultados semelhantes em seus estudos sobre a cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg.

**Tabela 1.** Valores de média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão, variância, coeficiente de variação (CV%), assimetria e curtose dos atributos pH (H<sub>2</sub>O), P (mg.dm<sup>-3</sup>), K (mg.dm<sup>-3</sup>), Ca (cmolc.dm<sup>-3</sup>) e Mg (cmolc.dm<sup>-3</sup>), nas profundidades de 0,0 – 0,025m (2010) e 0,0 – 0,20m (2008).

Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variância	CV(%)	Assimetria	Curtose
0.0 - 0.25m(2010)									
pH	5.23	5.20	5.00	5.60	0.12	0.01	2.21	0.42	0.15
P	7.24	7.05	2.30	14.40	2.79	7.80	38.57	0.60	-0.10
K	41.78	39.00	28.00	68	8.12	65.85	19.42	0.92	0.92
Ca	2.20	2.20	1.80	2.70	0.19	0.04	8.71	0.04	-0.21
Mg	1.26	1.30	0.60	1.70	0.22	0.05	17.14	-0.48	0.23
0.0 - 0.20m(2008)									
pH	4.87	4.87	4.52	5.40	0.15	0.02	3.13	0.67	1.02
P	6.93	7.18	0.43	13.56	3.18	10.13	45.90	-0.02	-0.84
K	31.47	29.36	15.13	53.40	10.00	100.01	31.78	0.41	-0.95
Ca	2.25	2.31	1.27	3.12	0.45	0.20	19.88	-0.41	-0.75
Mg	0.88	0.90	0.22	1.40	0.24	0.06	27.12	-0.13	-0.70

## 14 Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado

Os resultados da análise dos semivariogramas podem ser observados na Tabela 2 e Figuras 2 e 3. A escolha dos modelos esférico e gaussiano, ajustados aos semivariogramas, foi baseada no melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Os parâmetros do modelo do semivariograma ajustado foram submetidos à técnica de validação cruzada (Figuras 4 e 5). A técnica também foi usada para analisar a precisão da interpolação dos dados por krigagem na construção dos mapas de variabilidade espacial, ferramentas essenciais para se estabelecer o manejo ideal para cada nutriente.

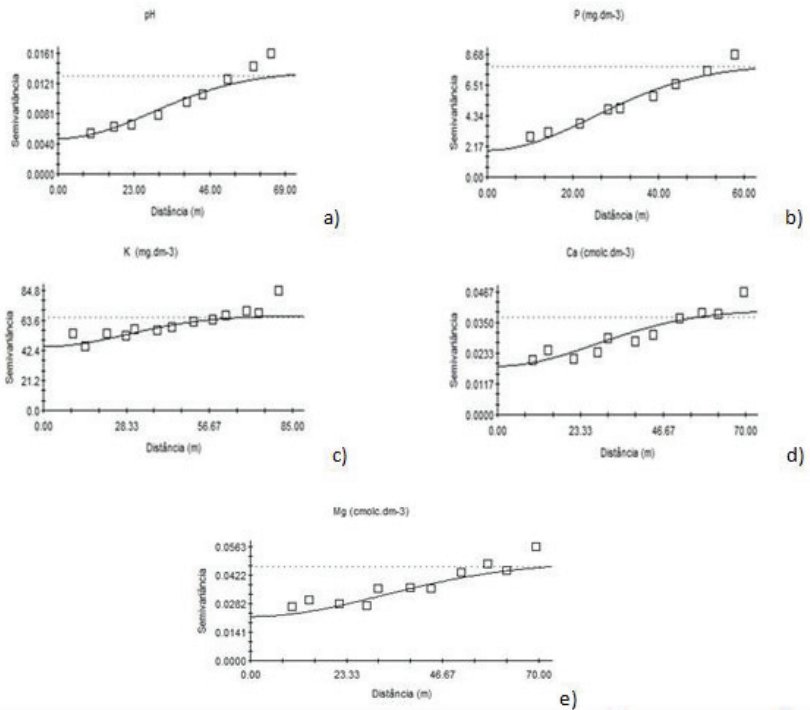
Os dados de todos os atributos (Tabela 2, Figuras 2 e 3) ajustaram-se ao modelo gaussiano, nas duas profundidades, com exceção do pH e do Mg, os quais se ajustaram ao modelo esférico na profundidade de 0,0 – 0,20 m.

**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os atributos pH ( $H_2O$ ), P ( $mg\ dm^{-3}$ ), K ( $mg\ dm^{-3}$ ), Ca ( $cmolc\ dm^{-3}$ ) e Mg ( $cmolc\ dm^{-3}$ ), nas profundidades de 0,0 – 0,025m (2010) e 0,0 – 0,20m (2008).

Variável	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	a	$R^2$	SQR	Dep. Esp. ( $C/(C_0+C) * 100$ )	Val. Cruzada ( $r^2$ )
0.0 - 0.25m(2010)								
pH	graus	0.005	0.014	70	0.930	1526 <sup>05</sup>	65.2	0.930
P	graus	1.888	7.907	61	0.940	2.23	76.1	0.999
K	graus	45.011	66.856	70	0.704	468	32.7	0.704
Ca	graus	0.018	0.040	68	0.830	1250 <sup>04</sup>	53.6	0.997
Mg	graus	0.022	0.048	79	0.839	2.220 <sup>04</sup>	55.0	0.995
0.0 - 0.20m(2008)								
pH	esf	0.008	0.026	38	0.933	8.895 <sup>06</sup>	67.9	0.955
P	graus	2.046	10.809	60	0.946	4.33	81.1	0.993
K	graus	11.659	100.856	66	0.939	645	88.4	0.986
Ca	graus	0.057	0.211	57	0.954	8.953 <sup>04</sup>	73.0	1.0000
Mg	esf	0.012	0.056	63	0.953	6.119 <sup>05</sup>	78.6	0.983

Efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), alcance (a), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), soma do quadrado do resíduo (SQR), coeficiente de regressão da validação cruzada ( $r^2$ ).

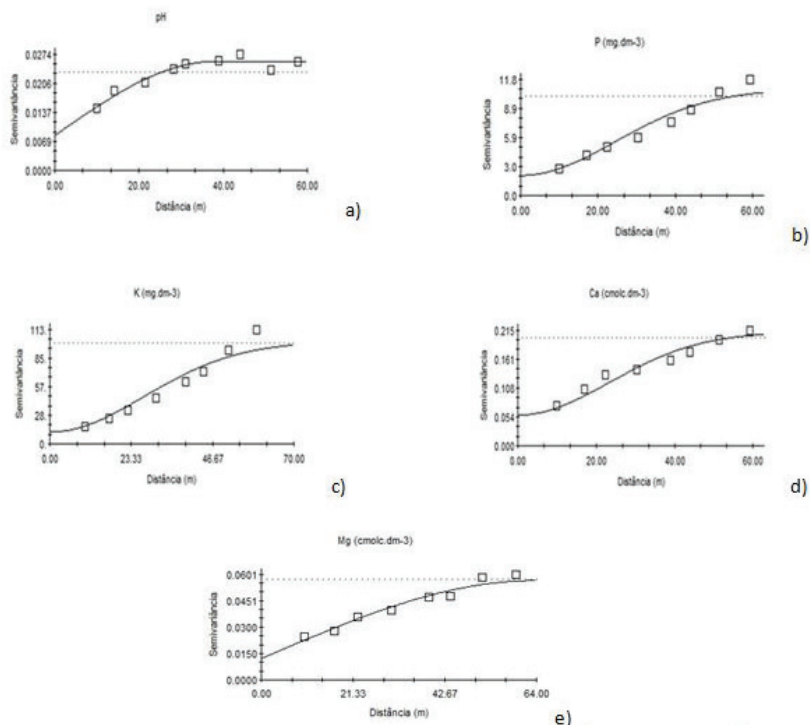
Os valores de alcance (a) variaram de 61 a 79 m na profundidade 0,0 – 0,025 m e 38 a 66 m na profundidade de 0,0 – 0,20 m. O alcance é um parâmetro importante no estudo dos semivariogramas: ele indica o limiar (distância) a partir do qual não há correlação espacial entre as amostras, ou seja, os pontos localizados no interior de uma área de raio igual ao alcance são mais semelhantes entre si do que os separados por distâncias maiores. Segundo Carvalho (2002), para garantir a dependência espacial, pontos de amostragem devem ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance.



**Figura 2.** Semivariogramas dos atributos - a) pH (H<sub>2</sub>O), b) P (mg dm<sup>-3</sup>), c) K (mg dm<sup>-3</sup>), d) Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>), e) Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), na profundidade de 0,0 – 0,025m (2010).



16 Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado



**Figura 3.** Semivariogramas dos atributos - a) pH (H<sub>2</sub>O), b) P (mg dm<sup>-3</sup>), c) K (mg dm<sup>-3</sup>), d) Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>), e) Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), na profundidade de 0,0 – 0,20 m (2008).

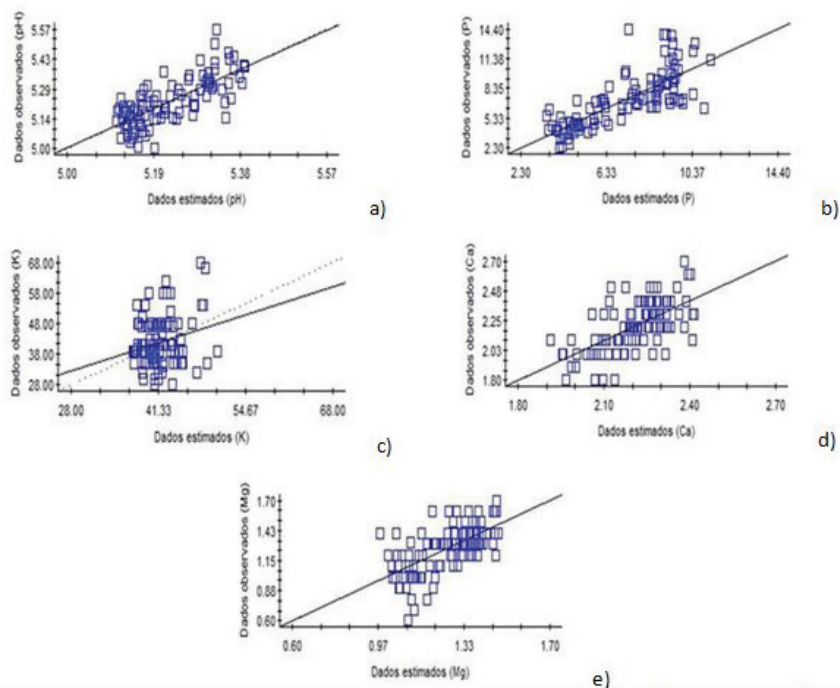
Analisando a relação  $(C/(C_0 + C)) * 100$  (Tabela 2), foi observado o grau de dependência espacial de média (25 - 75%) a alta (> 75%), conforme classificação de Zimback (2001); isso demonstra que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados.

Os atributos P e K apresentaram alta dependência espacial na profundidade de 0,0 – 0,20 m e somente o P na profundidade 0,0 – 0,025 m (Tabela 2). O P também apresentou maior coeficiente de variação, demonstrando variabilidade dos dados (Tabela 1), nas duas

profundidades. Segundo Carvalho et al. (2002), existe grande variação quanto à dependência espacial das propriedades químicas no solo conforme o método de preparo e profundidade. Os atributos P e K apresentam diferenças na dependência espacial em profundidade, independentemente do sistema de preparo do solo, o que indica que a profundidade é um fator importante no estudo da dependência espacial. No caso do P, a baixa mobilidade no perfil condiciona esses resultados, independentemente do preparo. Quanto ao K, apesar da variabilidade ser bastante dependente do preparo, em virtude da sua mobilidade, a variabilidade do K no solo não deve estar relacionada somente às linhas de adubação, mas também à localização das plantas, pois esse elemento não forma compostos orgânicos no tecido das plantas, e é facilmente transportado da parte aérea para o solo, após a chuva. Desse modo, tende a concentrar maiores teores próximo ao colo da planta, e diminui com o afastamento da mesma.

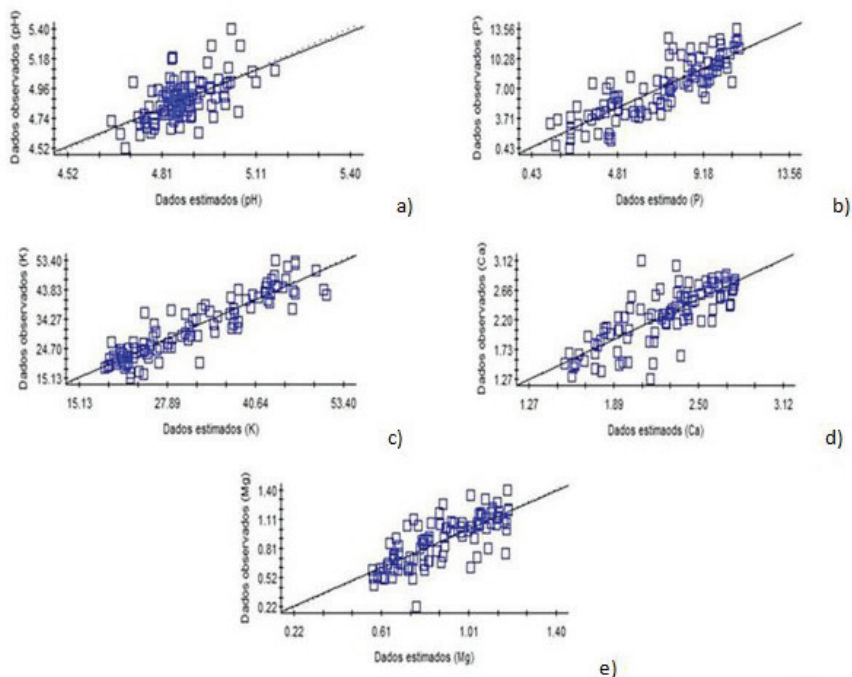
As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos de validação cruzada dos atributos químicos do solo (pH, P, K, Ca e Mg), nas profundidades de 0.0 – 0,025 m (2010) e 0.0 – 0,20 m (2008), respectivamente. Quatezani et al. (2011) observaram que, na validação cruzada, quanto mais afastado estiver o modelo teórico (reta) da linha pontilhada, maiores serão os desvios entre as observações reais amostradas em campo e as estimadas pela krigagem e cokrigagem. Quando a reta estiver acima da linha pontilhada, ela estará superestimando, e quando abaixo, subestimando os valores das observações, com o valor do intercepto da reta passando a ser negativo. Nos resultados do presente estudo, observamos que todos os semivariogramas ajustados, submetidos ao processo de validação cruzada, demonstraram um ótimo ajuste, verificado também através do coeficiente de regressão da reta (Tabela 2); quanto mais próximo ao valor um, melhor é o ajuste. Somente o K, na profundidade 0.0 – 0,025 m, obteve um menor ajuste ( $r^2 = 0,70$ ).

18 Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado



**Figura 4.** Validação cruzada dos atributos - a) pH (H<sub>2</sub>O), b) P (mg dm<sup>-3</sup>), c) K (mg dm<sup>-3</sup>), d) Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>), e) Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), na profundidade de 0,0 – 0,025 m (2010).

A distribuição espacial dos atributos (pH, P, K, Ca e Mg) nas duas profundidades 0,0 – 0,025 m (2010) e 0,0 – 0,20 m (2008), estimados por krigagem, estão representados nas Figuras 6 e 7; os valores estão agrupados em cinco classes em ordem crescente. Conforme Carvalho et al. (2002), somente pelo conhecimento da variabilidade no campo experimental é que adequados esquemas de amostragem podem ser definidos. Em seus estudos, as figuras mostram que a variabilidade se acentua na direção da declividade do solo, e que a amostragem ao acaso possivelmente não representaria todas as variações encontradas; daí a importância da amostragem sistemática em uma malha regular.

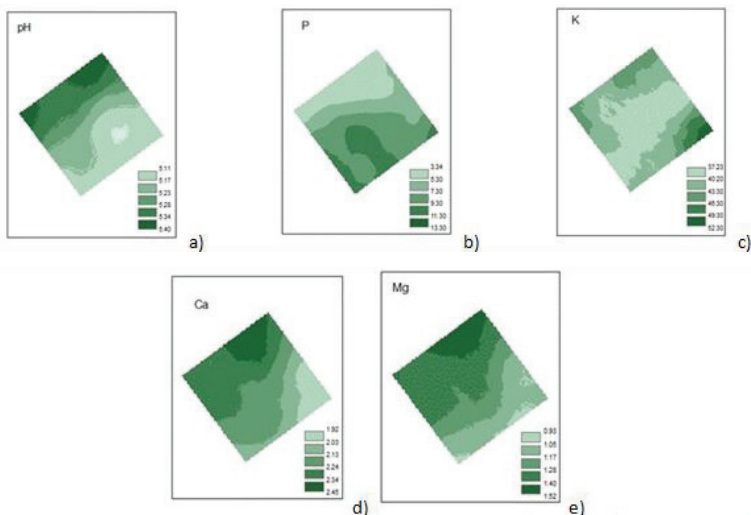


**Figura 5.** Validação cruzada dos atributos - a) pH (H<sub>2</sub>O), b) P (mg dm<sup>-3</sup>), c) K (mg dm<sup>-3</sup>), d) Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>), e) Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), na profundidade de 0,0 – 0,20 m (2008).

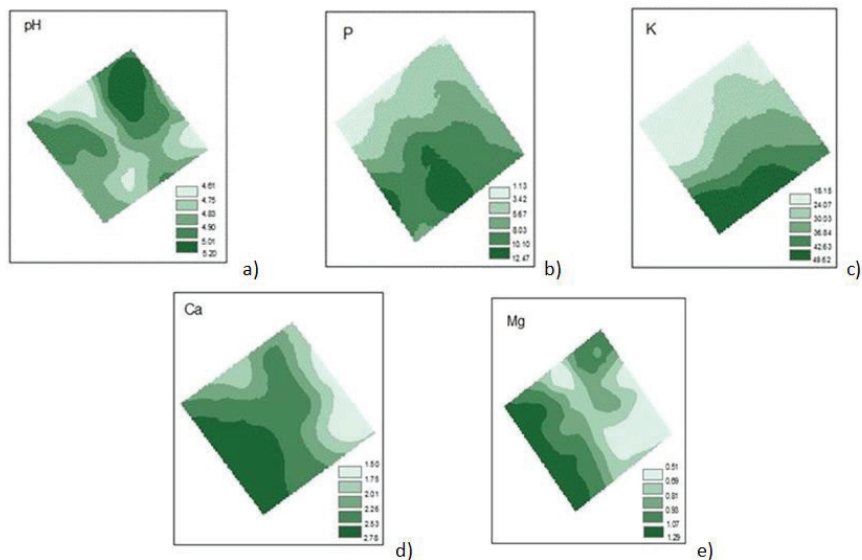
Através da análise dos mapas de distribuição espacial dos atributos químicos, observamos que o comportamento dos atributos (pH, Ca e Mg) nas duas profundidades, (0,0 – 0,025 m (2010) e 0.0 – 0,20 m (2008)), apresentou uma relação espacial direta entre elas e inversa ao P, o que se confirma pela análise do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 3), onde o pH se correlacionou positivamente e significativamente com os atributos Ca e Mg, e negativamente com o P. Esse comportamento se justifica principalmente pelo incremento de Ca e Mg no solo, resultante de práticas de calagem, resultado também obtido por Mafra et al. (2011).

Os atributos Ca e Mg apresentaram um comportamento estável em profundidade, mostrando distribuição das linhas de contorno (Figuras 6 e 7) similares nas duas profundidades analisadas e uma alta correlação de Pearson (Tabela 3). Campos et al. (2007) também concluíram que os atributos químicos estudados apresentaram comportamento similar tanto na camada superficial como na subsuperficial do solo, o que proporcionou melhor visualização e definição de zonas homogêneas de manejo.

O K apresentou um comportamento diferente nas duas profundidades avaliadas. Na profundidade 0,0 – 0,025 m, a distribuição das linhas de contorno foram diferentes entre si e o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 3) resultou em baixa correlação e não significativa com o P, enquanto, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, o K apresentou uma distribuição das linhas de contorno similar às linhas do P, e na análise do coeficiente de correlação de Pearson obteve uma alta correlação positiva significativa com o P, sendo confirmado pelas diferenças na dependência espacial em profundidade (Tabela 2).



**Figura 6.** Distribuição espacial dos atributos - a) pH ( $H_2O$ ), b) P ( $mg.dm^{-3}$ ), c) K ( $mg.dm^{-3}$ ), d) Ca( $cmolc.dm^{-3}$ ),e) Mg ( $cmolc.dm^{-3}$ ), na profundidade de 0,0 – 0,025m (2010).



**Figura 7.** Distribuição espacial dos atributos - a) pH ( $H_2O$ ), b) P ( $mg\ dm^{-3}$ ), c) K ( $mg\ dm^{-3}$ ), d) Ca ( $cmolc\ dm^{-3}$ ), e) Mg ( $cmolc\ dm^{-3}$ ), na profundidade de 0,0 – 0,20m (2008).

**Tabela 3.** Matriz do coeficiente de correlação de Pearson dos atributos de pH (H<sub>2</sub>O), P (mg dm<sup>-3</sup>), K (mg dm<sup>-3</sup>), Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>) e Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>), nas profundidades de 0,0 – 0,025 m (2010) e 0,0 – 0,20 m (2008).

Variáveis	pH	P	K	Ca	Mg
0.0 - 0.25m(2010)					
pH	1	0.005	-0.003	0.482**	0.462**
P	-0.525**	1.888	0.177	-0.326**	-0.345**
K	-0.003	45.011	1	-0.044	0.077
Ca	0.482**	0.018	-0.044	1	0.755**
Mg	0.462**	0.022	0.077	0.755**	1
0.0 - 0.20m(2008)					
pH	1	-0.072	-0.171	0.295**	0.280**
P	-0.072	1	0.749*8	-0.320**	-0.050
K	-0.171	0.749**	1	0.225*	-0.037
Ca	0.295**	-0.320**	0.225*	1	0.771**
Mg	0.280**	-0.050	-0.037	0.771**	1

\*\* . Correlação significativa ao nível de 1%

\* . Correção significativa ao nível de 5%

## Conclusões

A distribuição espacial dos atributos (pH, Ca e Mg), nas duas profundidades estudadas (0,0 – 0,025 e 0,0 – 0,20 m), demonstra uma relação espacial direta entre si e inversa ao P, o que se confirma pela análise do coeficiente de correlação de Pearson; o pH apresenta uma correlação positiva significativa com os atributos Ca e Mg e negativamente com o P. Esses resultados definem um comportamento estável em profundidade para a área em estudo, mostrando a distribuição das linhas de contorno similar nas duas profundidades analisadas, e permitindo melhor visualização.

Os resultados confirmam que, tanto na espacialidade como na temporalidade, os atributos químicos do solo apresentam variabilidade. É equivocado considerar que todos os atributos do

solo são semelhantes dentro da profundidade amostrada e usar a média dos valores para toda a lavoura como base para a tomada de decisão. Faz-se necessário analisar a variabilidade espacial da lavoura, favorecendo a precisão na agricultura, como uso da geoestatística, que verifica a presença da dependência espacial e otimiza o processo de transformação das informações pontuais em superfícies contínuas.

O estudo da dependência espacial dos atributos químicos do solo e o comportamento desses atributos em profundidades diferentes em um agroecossistema de arroz irrigado permite conhecer e associar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo às exigências da cultura, sendo então definidas as zonas de manejo e classes de comportamento na área.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil, disponibilizando bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor.



## Referências

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J. R. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, v. 8, p. 97-111, 1998.

BOTTEGA, E. L.; SILVA, S. A.; COSTA, M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 821-828, out./dez. 2011.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; FREITAS, E. V. S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 350-359, out./dez. 2007.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1329-1339, 2007.

CLARK, I. **Practical Geostatistics**. London: Elsevier, 1984. 129 p.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.1, p. 249-290.

DODERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 285-297, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

ESRI. **ArcGIS 9.3** – ArcMap (Software). Redlands: ESRI, 2008. 1 DVD.

FILIPPINI ALBA, J. M.; BERNY, V. M.; COSTA, F. A. da. **Geoprocessamento no contexto de empresas de pesquisa**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 44 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos 254).

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+ - Geostatistics for the Environmental Sciences**. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; MIQUELLUTI, D. J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; FERREIRA, E. Z.; BARROS, M.; ZALAMENA, J.; GROHSKOPF, M. A. Atributos químicos do solo e estado nutricional de videira Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) na Serra Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 10, n. 1, p. 44-53, 2011.

PARFITT, J. M. B. **Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológico em solos de várzea**. 2009. 97 f. Tese (Doutorado

26 Dependência Espacial dos Atributos Químicos do Solo em um Agroecossistema de Arroz Irrigado

em Solos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PIMENTEL-GOMES, F. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L.; LANDIM, P. M. B.; OLIVEIRA, R. B. **Validação da estimativa por krigagem para produtividade do café conilon**. II Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. 2011.

SPSS. SPSS 12.0. **For Windows and SmartViewer**. Chicago: SPSS Inc. 2003. 1 CD-ROM.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN H.; VOLKWEISS S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisa com cana-de-açúcar. In: MIRANDA-DINARDO, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 839-852.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - FCA/UNESP.

**Embrapa**

---

*Clima Temperado*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 12387