



Spatial variability of soil in soybean seed production and its yield components

Variabilidade espacial do solo em produção de sementes de soja e seus componentes do rendimento

**CORRÊA, Marciabela Fernandes⁽¹⁾; GADOTTI, Gizele Ingrid⁽²⁾;
PINHEIRO, Romário de Mesquita⁽³⁾; NADAL, Ariele Paula⁽⁴⁾;
VERGARA, Rafael de Oliveira⁽⁵⁾; NAVROSKI, Renan⁽⁶⁾; SCHUCH, Luis Osmar Braga⁽⁷⁾**

⁽¹⁾ 0000-0000-0000-0000; Doutora em Ciências e Tecnologia de Sementes, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: marciabelafc@yahoo.com.br.

⁽²⁾ 0000-0001-9545-6577; Centro de Engenharia-CENG, Universidade Federal de Pelotas, Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: gizeleingrid@gmail.com.

⁽³⁾ 0000-0003-0484-8351; Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Sementes, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: romario.ufacpz@hotmail.com.

⁽⁴⁾ 0000-0002-5046-6226; Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Sementes, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: arielenadal@hotmail.com.

⁽⁵⁾ 0000-0003-0773-9038; Doutor em Ciências e Tecnologia de Sementes, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: agrorafaelvergara@gmail.com.

⁽⁶⁾ 0000-0002-7854-6172; Doutorando em Agronomia pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: navroski@outlook.com.

⁽⁷⁾ 0000-0001-8869-0250; Professor aposentado do Departamento de Fitotecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, BRAZIL. E-mail: lobs@ufpel.edu.br.

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

The use of precision agriculture allied to techniques for evaluating the spatial variability of soil and crops provides essential information on the final gain in production. The objective was to analyze the attributes of soil, plant, and physiological quality in the production field of soybean seeds, cv. NS 5160 IPRO. Soil sampling to determine soil fertility was carried out at georeferenced points in an area of 41 hectares, with a rectangular grid of 100 x 100 m. Yield, soil penetration resistance, number of branches, number of pods, number of seeds per plant, plant height, and physiological quality of seeds were also evaluated through germination tests, first germination count, accelerated aging, electrical conductivity and emergency in the field. The results were submitted to descriptive and geostatistical statistics. The geostatistical analysis showed that some attributes evaluated Mg, S, Fe, physical attributes of the soil such as resistance to penetration in the layers of 0-10, 10-20, 20-30, and 30-40 cm and attributes of the soybean crop, such as productivity, plant height, number of branches, number of pods, number of seeds per plant, yield per plant, first germination count and germination did not show spatial dependence, called pure nugget effect. The analysis of spatial variability on some attributes such as phosphorus, potassium, calcium, magnesium, cation exchange capacity, base saturation, pH, organic matter, accelerated aging, and conductivity confirms spatial dependence.

RESUMO

O uso da agricultura de precisão aliado as técnicas de avaliação da variabilidade espacial de solo e culturas agrícolas fornece informações importantes no ganho final da produção. O objetivo foi analisar os atributos de solo, planta e qualidade fisiológica em campo de produção de sementes de soja, cv. NS 5160 IPRO. Realizaram-se amostragens de solo em pontos georreferenciados numa área de 41 hectares, com uma malha retangular de 100 x 100 m, para determinação da fertilidade do solo. Foram avaliados também a produtividade, resistência do solo a penetração, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, altura de planta e a qualidade fisiológica das sementes através dos testes de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e emergência em campo. Os resultados foram submetidos a estatística descritiva e geoestatística. A análise geoestatística mostrou que alguns atributos avaliados Mg, S, Fe, atributos físicos do solo como, resistência à penetração nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm e atributos da cultura da soja, como produtividade, altura de planta, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, rendimento por planta, primeira contagem da germinação e germinação não apresentaram dependência espacial, denominado de efeito pepita puro. A análise de variabilidade espacial sobre alguns atributos como fosforo; potássio; cálcio; magnésio; capacidade de troca de cátions; saturação de bases; pH; matéria orgânica; envelhecimento acelerado e condutividade confirma dependência espacial.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 27/10/2022

Aprovado: 07/03/2022

Publicação: 01/04/2022



Keywords:

Precision agriculture,
Production field, Seed
production.

Palavras-Chave:

Agricultura de precisão,
Campo de produção,
Produção de sementes.

Introdução

Para desenvolver a agricultura de precisão (AP) em todo o seu potencial e fazer a agricultura progredir em direção a todos os setores agrícolas, os critérios apropriados para a avaliação econômica são reconhecidos como uma das questões mais significativas que requerem atenção urgente e contínua (Medici et al., 2019). Inclui uma série de tecnologias que vão desde sistemas de detecção que mapeiam a variabilidade da cultura e do solo até sistemas de orientação e de taxa variável que dosam os insumos agrícolas no campo de produção (adubação, fertilizantes, sementes entre outros).

Essas tecnologias têm um amplo potencial para melhorar o desempenho agrícola, variando o uso mais eficiente de nutrientes agrícolas, aumento da qualidade e quantidade do produto agrícola vegetal e redução das sobreposições de campo. Por qualquer uma dessas razões, a AP é geralmente associada a potenciais benefícios econômicos e ambientais (Li et al., 2018). Práticas agrícolas atuais na produção de sementes com aplicação de AP tendem a gerar campos mais produtivos. Há, portanto, a necessidade de desenvolver novas estratégias de agricultura e gerar informações de forma adequada, a fim de apoiar a produção, racionalização e lucratividade no campo de produção de sementes.

A produção agrícola depende muito de fatores hídricos e do solo, que cada vez mais precisam ser utilizados com eficiência (Cisternas et al., 2020), pois entender a dinâmica nutricional do solo em relação a produção de sementes permite ao agricultor reconhecer as variações temporais e espaciais dos recursos de produção, facilitando o manejo necessário com maior precisão. De acordo com Mintert et al. (2016), práticas automatizadas de agricultura com base em amostragens de solo e análise dos dados de produção, melhora a gestão dos recursos otimizando o desempenho na colheita e pós-colheita; como também em todo o preparo de solo.

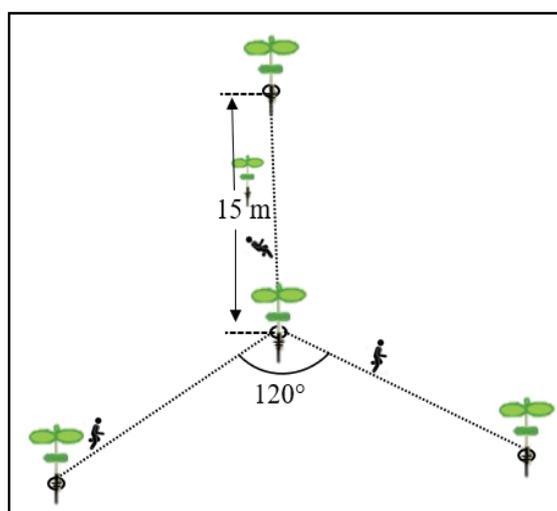
Os campos de produção estão sujeitos a uma série de fatores, que podem influenciar na qualidade final das sementes produzidas. Entre estes podem ser citados os atributos de solo, a ocorrência de pragas e doenças, a disponibilidade hídrica, entre outros. Devido a isto, produtores de sementes que trabalham com alto valor agregado, com lotes de sementes de alta qualidade fisiológica, necessitam administrar a variabilidade espacial de seus campos de produção para alcançar os padrões de campo e de laboratório estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Com esse levantamento da variabilidade espacial, os campos de produção de sementes de alta qualidade deveria ser manejados pela aplicação de insumos em taxa variável, refletindo na mitigação da amplitude dos fatores que influenciam a respectiva qualidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar atributos de solo, da planta e da qualidade fisiológica de sementes de soja, cv. NS 5160 IPRO, em um campo de produção.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em um campo de produção de sementes de soja comercial na empresa Granello Sementes no município de Lavras do Sul - RS (latitude 30° 43' 18,6" S, longitude 53° 56' 44,4" W), em uma área de 41 hectares, safra 2013/2014. A partir do mapa de contorno da área, foi elaborado um grid de amostragem, sendo os pontos amostrais espacializados de 100 x 100 metros, caracterizando um ponto por hectare. Para a determinação dos atributos do solo, avaliação da produtividade, número de ramos, número de vagens e número de sementes por planta foi realizada a coleta de quatro sub-amostras, sendo uma sub-amostra no ponto georeferenciado, e as demais coletadas em pontos equidistantes ao redor do ponto central em um raio de 15 m, conforme com a figura 1.

Figura 1. Diagrama de demarcação do ponto amostral central e subpontos amostrais dentro do campo de produção de sementes de soja.



Fonte: PINHEIRO (2021)

Os pontos de amostragem centrais foram definidos com base no método de amostragem sistemática, seguindo uma grade regular de amostragem, onde os pontos são marcados ao longo de um percurso predefinido, e com base nos contornos do campo (Mattioni et al., 2011).

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 - 10 cm, antes da semeadura da soja, conforme indicado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS RS/SC, 2016). A análise química do solo e a análise das sementes foram realizadas, respectivamente no Laboratório de Análise de Solos e no Laboratório Didático de Análise de Sementes, ambos localizados na Universidade Federal de Pelotas.

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi realizada com um penetrômetro eletrônico, modelo PLG 1020, da marca Falker, que tem por finalidade quantificar a compactação do solo. A medição foi realizada em cada ponto central do grid de amostragem, e nos três pontos laterais, sendo analisadas as camadas de 0-10, 11-20, 21-30 e 31- 40 cm, expressando os resultados em MPa.

A avaliação dos atributos do solo fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), matéria orgânica (MO), pH, saturação de bases (V%) e CTC pH7 foi realizada de acordo com a recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004). Os modelos digitais foram elaborados através do pacote geoR do software estatístico R (2014). A krigagem foi o método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais.

A cultivar de soja utilizada foi a NS 5160 IPRO, com característica de superprecocidade, alta produtividade, crescimento indeterminado e grupo de maturação 5-3.

Foi realizada semeadura direta na palha, utilizando uma semeadora-adubadora de plantio direto, equipada com sulcador tipo facão. A máquina foi regulada para distribuir 15 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,50 m, com uma população de 300.000 plantas.ha⁻¹. A adubação de base consistiu em uma dose fixa de 160 kg. ha⁻¹ de adubo NPK da formulação 2-20-20.

A variabilidade espacial foi analisada adotando o critério de classificação baseado pelo coeficiente de variação (CV) proposto por Wilding e Dress (1983), que define como baixa variabilidade os atributos com valor de CV inferior a 15%, variabilidade moderada se o CV se situa entre 15 e 35% e alta variabilidade se o CV apresenta valor superior a 35%.

A produtividade (Prod.) foi determinada a partir da média de cada parcela de quatro m² por hectare cujas amostras foram pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g e os valores transformados em kg. ha⁻¹ e corrigidos para o grau de umidade de 13%, umidade padrão de comercialização.

O número de ramos por planta (NRP) foi determinado a partir da contagem do número de ramos das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georreferenciados. O número de vagens por planta (NVP) foi determinado a partir da contagem do número de vagens das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georreferenciados. O número de sementes por planta (NSP) foi determinado a partir da contagem do número de sementes das plantas em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georreferenciados. A altura de planta (AP) foi determinada a partir da medição das plantas, da raiz ao ápice, em um metro linear em cada subamostra dos pontos amostrais georreferenciados.

Para o teste de germinação (G) foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes, para cada ponto amostral georreferenciado. As sementes foram dispostas em rolos formados por três folhas de papel germitest, umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel. Os rolos foram transferidos para o germinador a temperatura de 25 °C. As avaliações foram efetuadas no quinto e oitavos dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

O teste de primeira contagem da germinação (PCG) foi realizado conjuntamente ao teste de germinação, com avaliação no quinto dia após a instalação do teste de germinação. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme descrito para o teste de germinação nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Para o teste de envelhecimento acelerado (EA) foram analisadas 200 sementes, para cada ponto amostral georreferenciado, divididas em quatro repetições de 50, utilizando-se o método de Gerbox adaptado conforme Marcos Filho (1999). As sementes foram distribuídas em camada única sobre uma tela suspensa dentro de caixas de Gerbox, contendo 40 mL de água. Posteriormente, essas caixas permaneceram em câmara BOD por 48 h, a 41 °C. Após este período, foi realizado o teor de água pelo método de estufa conforme Brasil (2009) e estando dentro do indicado por Marcos Filho (1999), as sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais aos cinco dias após início do teste de germinação.

O teste de condutividade elétrica (CE) foi realizado utilizando quatro repetições de 50 sementes, para cada ponto amostral georreferenciado. As sementes foram colocadas em copos plásticos de 200 mL, contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 25 °C por 24 horas (Vieira & Krzyzanowski, 1999). Após este período, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução com condutímetro digital. Os resultados foram expressos em micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Para a determinação da emergência em campo (EC), utilizaram-se oito subamostras de 50 sementes para cada ponto amostral georreferenciado, distribuídas em sulcos de 1,0 m de comprimento, profundidade de 2,5 cm e espaçamento entre linhas de 0,50 m. As avaliações foram realizadas aos 14 dias após a semeadura, considerando plântulas com mais de 2,5cm.

Resultados

A heterogeneidade observada entre os atributos, demonstra que os componentes analisados sofreram com gradientes de fertilidade do solo, concentração de elementos, conteúdo de carbono orgânico, que podem afetar diretamente as lavouras, porém essa situação pode se alterar conforme manejo e mudanças climáticas. Os dados apresentados na tabela 1 para os atributos do solo e da soja demonstram variações entres os componentes estudados, ressaltando elemento de alta e baixa variabilidade.

Tabela 1. Resultados da estatística descritiva para os atributos químicos do solo e dos componentes de rendimento e qualidade fisiológica das sementes de soja, cv. NS 5160 IPRO.

Variáveis	Classificação*	Valores		Média	CV (%)
		Mínimo	Máximo		
Atributos do solo					
Ca (mg dm ⁻³)	alto	2,6	14,0	9,2	31,51
Mg (mg dm ⁻³)	alto	0,8	4,9	3,1	31,56
P (mg dm ⁻³)	alto	3,6	50,0	14,4	102,34
K (mg dm ⁻³)	médio	36,0	155,0	79,2	32,66
MO (%)	médio	2,6	5,5	4,2	16,56
CTC pH7 (mg dm ⁻³)	alto	8,1	28,1	19,5	24,27
pH (smp)	baixo	4,8	5,5	5,2	3,01
Fe (mg dm ⁻³)	**	0,1	0,8	0,4	30,04
S (mg dm ⁻³)	alto	10,4	21,1	16,7	16,45
RP 0-10 (MPa)	baixa***	0,353	1,126	0,664	30,05
RP 11-20 (MPa)	moderada	0,857	2,382	1,405	21,38
RP 21-30 (MPa)	moderada	1,049	2,188	1,357	17,21
RP 31-40 (MPa)	moderada	1,140	2,328	1,654	16,93
Atributos da soja					
Prod. (kg.ha ⁻¹)	-	3281	4987	4160	9,84
NRP	-	0,4	3,7	2,1	33,72
NVP	-	29,3	79,0	46,6	22,39
NSP	-	72,3	209,4	113,3	22,81
Altura (cm)	-	92,8	120,4	104,8	5,86
G (%)	-	83	95	90	3,12
PCG (%)	-	79	91	86	3,54
EA (%)	-	85	93	89	2,70
EC (%)	-	76	100	93	5,54
CE (µS.cm ⁻¹ .g de sementes ⁻¹)	-	65,4	91,2	77,3	7,85

*Segundo a CQFS (2004); **Nível não tóxico; *** Segundo a USDA (1993); RP= resistência à penetração; Prod.= produtividade; NRP= número de ramos por planta; NVP= número de vagens por planta; NSP= número de sementes por planta; G= germinação; PCG= primeira contagem da germinação; EA= envelhecimento acelerado; EC= emergência de plântulas em campo; CE= condutividade elétrica.

Entre os atributos do solo destacam-se a alta variabilidade espacial do elemento fósforo, com CV de 102,34%, e a baixa variabilidade do pH com CV de 3,01%. As diferenças demonstram que caracteres distintos foram afetados por variações espaciais de campo em uma extensão claramente diferente, e que os componentes de rendimento da soja, tais como número de ramos por planta (NRP); número de vagens por planta (NVP) e número de sementes por planta (NSP) foram os mais influenciados. Entretanto a produção de sementes (prod. kg. ha⁻¹) e a altura foram os menos influenciados pela variabilidade espacial.

Para os testes de qualidade fisiológica das sementes foi observada baixa variação entre as variáveis analisadas, sendo que os aspectos avaliados para qualidade de sementes

demonstraram que mesmo, os componentes anteriores sofreram maior variabilidade espacial. As sementes também se mantiveram numa oscilação heterogênea, porém <10%, tendendo para uma homogeneidade entre as variáveis, o que foi observado para PMG e G (%). Isso pode ser explicado pela qualidade inicial da semente no período de semeadura e até mesmo os nutrientes não terem sido limitantes. Mesmo considerando que testes de vigor devem ser usado entre lotes diferentes, aqui nesse estudo os lotes seriam as variabilidades espaciais de solo, assim o uso é pertinente.

A análise geoestatística mostrou que os atributos químicos do solo Mg, S, Fe, atributos físicos do solo como, resistência à penetração nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm e atributos da cultura da soja, como produtividade, altura de planta, número de ramos, número de vagens, número de sementes por planta, rendimento por planta, primeira contagem da germinação e germinação não apresentaram dependência espacial, que é denominado efeito pepita puro. Significa dizer que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição ao acaso, possivelmente pelos dados apresentarem baixa variabilidade espacial, como pode ser verificado pelos baixos valores de coeficiente de variação. Isso ocorre devido que produtores de sementes geralmente são muito tecnicizados e sempre mantem os campos de produção de sementes com níveis de nutrientes e cuidados fitossanitários acima de campos de destino para grãos.

Os valores de efeito pepita e do patamar apresentaram ampla faixa de valores, de 0,005 a 541,02, e de 0,027 a 656,20, respectivamente, sendo o potássio o elemento que apresentou maior valor. O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. Quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa (Vieira, 2000). O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas das variáveis Ca, pH, V (%), índice SMP, matéria orgânica, P, K e envelhecimento acelerado foi o esférico. Para as variáveis CTC pH7, emergência em campo e condutividade elétrica o melhor ajuste foi obtido com o modelo gaussiano.

O alcance da dependência espacial é um atributo importante no estudo dos semivariogramas, haja vista que representa a distância máxima em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si (Chaves & Farias, 2009), ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora desta área. De acordo com os dados apresentados na tabela 2, o alcance variou de 118 a 518 m, tendo o cálcio apresentado maior valor. Este alto alcance do cálcio pode ser atribuído segundo Souza et al. (2004), ao manejo do solo adotado por meio da calagem ou adubação, o que pode ter contribuído para aumentar o alcance, caracterizando uma continuidade maior na distribuição desta variável.

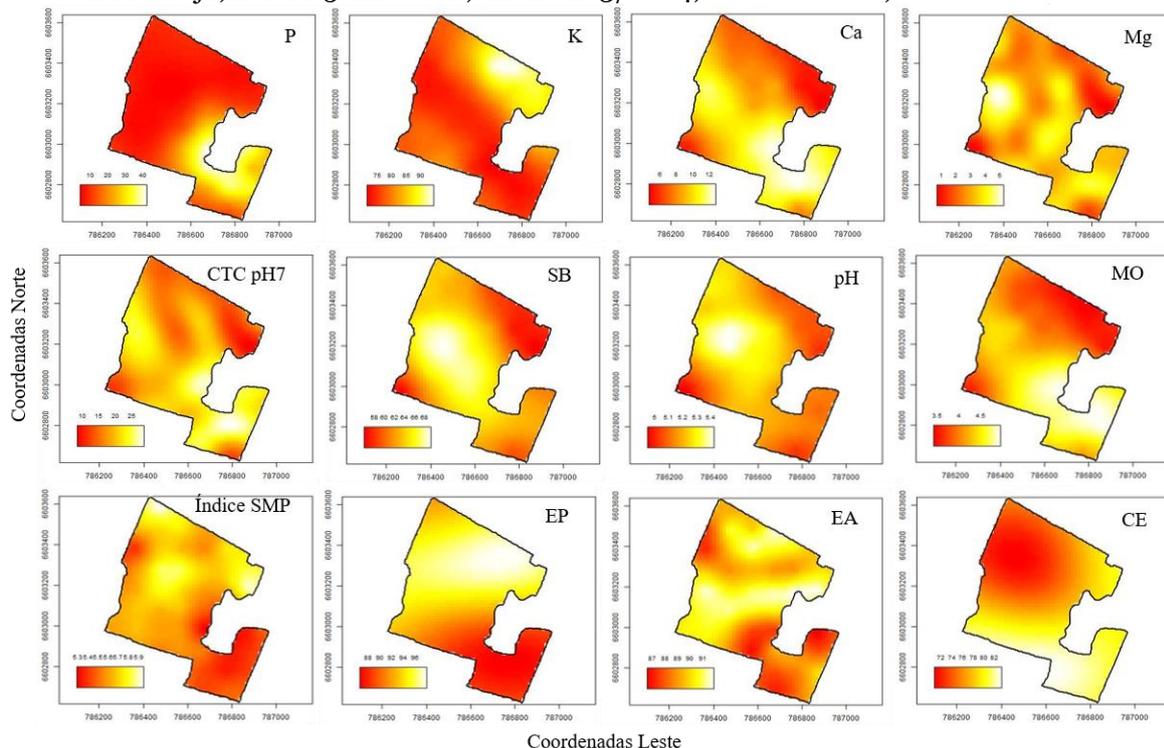
Tabela 2. Parâmetros do semivariogramas ajustados aos dados de atributos químicos do solo e dos componentes de rendimento e qualidade fisiológica das sementes de soja, cv. NS 5160 IPRO.

Variáveis	Modelo	(Co)	(Co+C1)	Alcance (m)	E (%)	IDE (%)
Ca	Esférico	2,146	9,61	518	22,34	77,66
pH	Esférico	0,009	0,027	420	33,08	66,92
V (%)	Esférico	34,69	58,31	446	59,49	40,51
MO	Esférico	0,201	0,500	516	40,11	59,89
P	Esférico	63,06	202,10	442	31,20	68,80
K	Esférico	541,02	656,20	371	82,45	17,55
CTC pH 7	Gaussiano	0,929	22,97	118	4,05	95,95
EA	Esférico	2,24	5,87	224	38,13	61,87
EC	Gaussiano	11,07	26,05	356	42,50	57,50
CE	Gaussiano	18,70	36,10	335	51,80	48,20
RP 0-10			Efeito pepita puro			
RP 11-20			Efeito pepita puro			
RP 21-30			Efeito pepita puro			
RP 31-40			Efeito pepita puro			
Mg			Efeito pepita puro			
S			Efeito pepita puro			
Fe			Efeito pepita puro			
Prod.			Efeito pepita puro			
Altura			Efeito pepita puro			
NRP			Efeito pepita puro			
NVP			Efeito pepita puro			
NSP			Efeito pepita puro			
PCG			Efeito pepita puro			
G			Efeito pepita puro			

Efeito pepita: Co; Patamar: Co+C1; Índice de dependência espacial: IDE; Coeficiente de efeito pepita: E (%); G: Germinação; PCG: Primeira contagem da germinação; Envelhecimento acelerado: EA; Emergência de plântulas em campo: EC; Condutividade elétrica: CE; Saturação por bases: V (%); NRP: número de ramos; NVP: número de vagens por planta; NSP: número de sementes por planta.

Os mapas de distribuição mostram semelhanças entre os teores de fósforo, matéria orgânica, cálcio e CTC pH7 (figura 2). Observa-se uma significativa amplitude nos valores de nutrientes do solo. O aumento da amplitude revela os problemas que podem ocorrer caso se use a média dos valores para o manejo da fertilidade. Em alguns locais da área, a aplicação de fertilizante será inferior à dose necessária; em outros, a aplicação será condizente com as necessidades e, em outros, poderá haver aplicação excessiva.

Figura 2. Mapas de distribuição espacial das propriedades químicas do solo, emergência (%), envelhecimento acelerado (%) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}$ de sementes $^{-1}$) de sementes de soja, cv. NS 5160 IPRO, safra 2013/2014, Lavras do Sul, RS.



P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; CTC pH7: capacidade de troca de cátions; SB: Saturação de bases; pH: potencial de Hidrogênio iônico; Mo: Matéria orgânica; Índice SMP; EP: emergência em campo; EA: envelhecimento acelerado e CE Condutividade elétrica.

Quanto à qualidade fisiológica, os resultados demonstram que há similaridade entre os mapas de emergência em campo, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica. De acordo com a Figura 2, a região no mapa que apresentou maior emergência, apresentou menor condutividade elétrica, o que significa dizer que a semente produzida nesta região tende a possuir maior qualidade fisiológica.

Discussão

Os resultados desta investigação demonstram que a heterogeneidade do solo em testes de desempenho da soja pode influenciar simultaneamente os caracteres agrônômicos, como NRP, NVP e NSP, isso também foi observado por Vollmann et al. (2000). Os valores de P tiveram uma média de $14,4 \text{ mg dm}^{-3}$, o que, segundo CQFS-RS/SC (2016), classifica-se como alto, apresentando regiões dentro da área com teor de $3,6 \text{ mg dm}^{-3}$, outras regiões com até $50,0 \text{ mg dm}^{-3}$, de maneira que o referido elemento foi classificado como de alta variabilidade espacial. A partir destes dados pode-se observar a heterogeneidade deste elemento na área, o que poderia gerar mal uso quando observado valores muito baixos ($3,6 \text{ mg dm}^{-3}$), pois a intercessão com correção de qualquer elemento poderá ser apenas em locais específicos. Ao considerar como base os valores médios não haveria necessidade da aplicação de adubação.

Matéria orgânica e potássio apresentaram média variabilidade mais associado ao pH que apresentou baixa variabilidade, demonstra situação de acidez no solo, portanto há uma diminuição na disponibilidade destes elementos, o que pode explicar que essa acidez apresentada no solo é decorrente de pouca matéria orgânica ou nenhuma correção aplicada. Quando o pH do solo apresenta-se como muito baixo, em grande parte da área, as principais causas químicas da geração de acidez no solo são: a água da chuva, a decomposição de materiais orgânicos, a adição de fertilizantes nitrogenados e a lixiviação e exportação pelas culturas de cátions de reação básica (Wiethöler, 2011). Nesse caso há necessidade de aplicação de calcário, pois o pH em toda área está abaixo de 6,0.

O valor médio de germinação foi de 90% (tabela 1), acima do percentual mínimo exigido para comercialização de sementes de soja no Brasil, que é de 80% conforme IN do MAPA 45/2013. Portanto, é possível distinguir as zonas que apresentaram qualidade fisiológica satisfatória, e esta pode ser uma importante informação para observar os locais de menor produção com qualidade inferior (Mattioni et al., 2011). Portanto, Müller et al. (2018), consideram a identificação através das análises propostas, ferramentas que permitem a distinção de locais específicos e a otimização dos meios de produção e manejo no auxílio de obtenção de lotes de sementes com elevados padrões de qualidade. Isso corrobora com Gazolla et al (2015), Gazolla et al. (2016), Gazolla et al. (2017), Vergara et al. (2019) e Correia et al. (2021).

A produtividade média foi de 4.160 kg. ha⁻¹ com um coeficiente de variação 9,84%. Rendimento foi superior em 2019/20 com 3.379 kg. ha⁻¹ (Conab 2020). Valores semelhantes também foram encontradas por Müller et al. (2018), analisando variabilidade espacial em soja, com uma produtividade média 4.148,88 kg. ha⁻¹, e coeficiente de variação de 15,21%. Assunção e Frasson (2013) ao avaliarem as características agrônômicas de 51 cultivares de soja semeadas em duas safras, na cidade de Diamantino (MT), obtiveram rendimento médio de 3.904 kg. ha⁻¹ para a cultivar TMG 1179 RR.

Com semivariogramas ajustados, foi realizado a interpolação de krigagem para estimar os valores indeterminados e elaborar os mapas temáticos (figura 2) em cada atributo que apresentasse dependência espacial. Por meio da análise dos mapas, foi possível perceber tendências para determinados atributos, na área estudada, que apresentaram maior ou menor concentração em locais específicos. De acordo com Artur et al. (2014), os mapas de dependência espacial permitem localizar áreas com problemas e testar a eficiência das práticas utilizadas para resolvê-los. Assim, podem auxiliar de forma precisa zonas de manejo nas lavouras de soja que permitam a implantação de tratamentos diferenciados, de acordo com as necessidades específicas da planta e do solo.

Então, a geoestatística permite determinar a distribuição espacial da qualidade fisiológica das sementes de soja na área de produção de sementes, facilitando a tomada de decisão, quanto às áreas a serem colhidas (Vergara et al., 2019). Com isso pode-se perceber

que a distribuição espacial das plantas na produtividade da soja interage com a duração do ciclo da cultivar (Stivers & Swearingin, 1980), como também com os processos de pós-colheita atuando na qualidade fisiológica e armazenamento das sementes.

Em determinadas situações pode ocorrer, de uma má distribuição temporal não afetar a taxa média de crescimento da planta individual, mas a variabilidade pode ser aumentada. Este aumento da variabilidade pode ser explicado por alguns indivíduos que tiveram maior crescimento de planta, mas com uma redução no número de sementes por causa da partição reprodutiva reduzida (Masino et al., 2018). Possivelmente decorrente da influência do solo quando o mesmo apresenta elementos com alto teor nutritivo e outros mais baixo, disponíveis, o que pode ocasionar uma disparidade, afetando os demais componentes de rendimento e a qualidade das sementes. Neste estudo não foi observado essa influência na qualidade fisiológica das sementes, entretanto tais fatores são inerentes a todo o processo de desenvolvimento da planta.

Conclusão

Existe variabilidade espacial de alguns atributos de solo como fósforo; potássio; cálcio; magnésio; capacidade de troca de cátions; saturação de bases; pH; matéria orgânica; e de qualidade fisiológica como envelhecimento acelerado e condutividade na cultura da soja, cv. NS 5160 IPRO, confirmado através da dependência espacial.

Os mapas de distribuição espacial da emergência em campo e condutividade elétrica podem ser utilizados no gerenciamento da colheita de sementes de alta qualidade fisiológica.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Artur, A. G., Oliveira, D. P., Costa, M. C., Romero, R. E., Silva, M. V., Ferreira, T. O. (2014). Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 141-149. Doi: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n2/a03v18n2.pdf>.
- Assunção, P. S., Frasson, D. B. (2013). Avaliação do comportamento de cultivares de soja semeadas em 2 épocas na região Parecis de Mato Grosso. *P. A. Consultoria Agrônômica, Pesquisa & Agricultura de Precisão*. (Relatório Técnico). <http://www.Paconsultoriaagronomica.com.br/uploads/Resultados%20de%20Pesquisa/Relatorio%20Tecnico%20-20CULTIVARES.pdf>.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária (2009). *Regras para Análise de Sementes*. Brasília, DF: MAPA: SDA.

- Carvalho, N. M., Nakagawa, J. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*, 5 ed. Jaboticabal: Funep.
- Chaves, L. H. G., Farias, C. H. A. (2009). Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, p. 211-218.
- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture, Computers and Electronics. *Agriculture*, v. 176, p. 105626. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2016). *Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2020). *Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento*. Brasília: Conab. (Companhia Nacional de Abastecimento).
- Corrêa M. F., Gadotti, I. G., Pinheiro, M. R., Nadal, P. A., Schuch., L. O. B., Vergara, R. O. (2021). Análise de variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes de soja e trigo. *Revista Cereus*, v. 13, n. 4, p. 182-194. Doi 10.18605/2175-7275/cereus.v13n4 p182-194.
- Gazolla-Neto, A. (2015). Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 03 <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n314rc>.
- Gazolla-Neto A, Fernandes M. C., Vergara R. O., Gadotti G. I., Villela F. A. (2015). Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 2, p. 325-333. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160038>.
- Gazolla, A., Oliveira, R., Gadotti, G. I., Villela, F.A. (2017). Rastreabilidade e variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes soja em campo de produção. *Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária*, v. 1, p. 65-73.
- Li, C., Wang, Y., Lu, C., Huai, H. (2018). Efeitos da semeadura de precisão e nivelamento a laser na produção de trigo de inverno e nitrogênio residual do solo. *International Journal of Agriculture and Biology*, v. 20, p. 2357-2362. Doi: 10.17957/IJAB/15,08 20.
- Masino, A., Rugeroni, P., Borrás, L., Rotundo, J. L. (2018). Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield, *European Journal of Agronomy*, v. 98, p. 12-24. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.006>.
- Mattioni, N. M., Schuch, L. O. B., Villela, F. A. (2011). Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 4, p. 608-615.
- Mintert, J., Widmar, D., Langemeier, M., Boehlje, M., Erickson, B. (2016). Others. The challenges of precision agriculture: is big data the answer? In: *Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*, San Antonio, Texas. p. 1-9. DOI: 10.22004/ag.econ.230057.
- Medici, M., Pedersen, S. M., Canavari, M., Anken, T., Stamatelopoulos, P., Tsiropoulos, Z., Zotos, A., Tohidloo, G. (2012). A web-tool for calculating the economic performance of precision agriculture technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 181, p. 105930. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105930>.
- Müller, D. H., Camili, E. C., Scaramuzza, W. L. M. P., Albuquerque, M. C. F. (2018). Spatial variability in soybean seeds quality and in chemical attributes of the soil of a production field in the Brazilian Cerrado. *Journal of Seed Sciences*, v. 40, p. 25-35. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n1182375>.
- Souza, Z. M., Marques Junior, J., Pereira, G. T., Moreira, L. F. (2004). Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v. 34, p. 1763-1771. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600015>.
- Stivers, R. K., Swearingin, M. L. (1980). Soybean yield compensation with different populations and missing plant patterns. *Agronomy Journal*, v. 72, p. 98-102. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1980.0z0021962007200010019x>.
- Vergara, R. De O., Gazolla-Neto, A., Gadotti, G. I. (2019). Space distribution of soybean seed storage potential. *Revista Caatinga*, v. 32, p. 399-410. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n213rc>.
- Vieira, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F., Alvares, V. V. H., Schaeffer, C. E. G. R. *Tópicos em ciência do solo*. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54.
- Vieira, R. D., Krzyzanowski, F. C. (1999). Teste de condutividade elétrica. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França Neto, J. B. *Vigor de sementes: Conceitos e testes*. Londrina: Abrates, cap.4, p.1-20.
- Vollmann, J., Winkler, J., Fritz, C. N., Grausgruber, H., Ruckenbauer, P. (2000). Spatial field variations in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) performance trials affect agronomic

- characters and seed composition. *European Journal of Agronomy*, v 12, n. 1, p. 13-22. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00042-8).
- Wietholter, S. (2011). Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: Pires, J.L.F., Vargas, L., Cunha, G. R. da (Ed.). *Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável*. Passo Fundo: Embrapa Trigo. cap.6, p.135-184.
- Wilding, L. P., Dress, L. R. Spatial variability and pedology. In: Wilding, L. P., Smeck, N. E., Hall, G. F. (1983). *Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions*. New York: Elsevier, p. 83-166.