

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SEMENTES



TESE

VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE SOJA ESTIMADA PELA CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA MASSAL E INDIVIDUAL

NILSON MATHEUS MATTIONI

PELOTAS
RIO GRANDE DO SUL- BRASIL
2013

NILSON MATHEUS MATTIONI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE SOJA ESTIMADA PELA CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA MASSAL E INDIVIDUAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

PELOTAS, 2013

Dados de catalogação na fonte:

(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

M435v Mattioni, Nilson Matheus

Variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja estimada pela condutividade elétrica massal e individual / Nilson Matheus Mattioni ; orientador Francisco Amaral Villela - Pelotas,2013.-93f. : il..- Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

1.Glycine Max 2.Agricultura de Precisão 3.Produção de Sementes 4.Controle de Qualidade I.Villela, Francisco Amaral(orientador) II. Título.

CDD 633.34

Banca Examinadora:

Dr. Francisco Amaral Villela
Orientador – FAEM - UFPel

Dr. Luís Osmar Braga Schuch
Examinador 01

Dr. Silmar Teichert Peske
Examinador 02

Dr. Luís Eduardo Panozzo
Examinador 03

Dra. Caroline Jácome Costa
Examinador 04

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a todas as pessoas que
acreditaram estiveram ao meu lado durante mais essa
etapa de minha vida, em especial a minha esposa
Joviane, todos os meus familiares e amigos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por permitir o cumprimento de mais essa etapa.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela oportunidade de realização desse curso.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Departamento de Fitotecnia, pelo apoio e compreensão durante todo o curso.

Ao Prof. Dr. Francisco Amaral Villela, não apenas pela orientação, mas também pela amizade que transcende o meio profissional.

A todos os professores do PPGC&TS da UFPel, pelos ensinamentos que muito contribuíram para a minha formação profissional.

A todos os membros da banca, pela disponibilidade e colaboração para com esse trabalho.

À colega de trabalho e amiga Prof^ª. Dr^ª. Liliane Márcia Mertz, pelas contribuições, ensinamentos e troca de idéias que muito contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Ao colega e amigo Prof. Dr. Ubirajara Russi Nunes, pelas conversas e troca de experiências.

Às bolsistas e amigas do Laboratório de Análise de Sementes Samantha Rigo Segalin e Caroline Huth, pelo auxílio, dedicação em comprometimento.

Aos demais colegas do Setor de Sementes da UFSM, funcionários Alberto Blaya Perez e Vera Lúcia da Silva, estagiários Flávia Barzotto, Humberto Zen, Fabricio Fuzzer, Manoela Beche, Ingrid Cervo Cabrera e alunos de Pós-graduação Fernando Machado Haesbaert, Gersa Massuquini Conceição e Ana Paula Piccinin Barbieri muito obrigado pela atenção, ajuda, dedicação, momentos de descontração, integração e apoio durante o curso.

Agradeço à minha esposa Joviane, que sempre com paciência e compreensão me incentivou para nunca desistir diante das dificuldades.

Aos meus pais Olinto e Carmen Mattioni, aos meus irmãos Nedi e Nilvan, cunhadas Viviane e Paula, sobrinhos Maria Eduarda, Luiz Matheus e Thayná, que mesmo à distância e às vezes sem saber, sempre me incentivaram durante toda a caminhada acadêmica e profissional.

Ao meu sogro Laurindo e minha sogra Marilda e meu cunhado Giovan, pela amizade, momentos de descontração e pelo apoio.

A todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram com informações, críticas, sugestões e incentivo ao longo deste curso, o meu agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Produtividade média brasileira de soja no período entre as safras 1976/77 até 2011/12 (CONAB, 2012).....	22
FIGURA 2. Representação dos parâmetros de um variograma.....	37
FIGURA 3. Malha georeferenciada para coleta de amostras de sementes de soja em quatro campos de produção, com densidade de 1 amostra para cada 0,1 ha para os campos 1 e 3 e de 1 amostra para cada 0,25 ha para os campos 2 e 4. UFPel, 2013.....	42
FIGURA 4. Representação da distribuição dos pontos amostrais das subamostras, colhidas para determinação da produtividade e da qualidade das sementes em cada posição da malha de amostragem. UFPel, 2013.....	43
FIGURA 5. Mapa da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	49
FIGURA 6. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	51
FIGURA 7. Mapa da emergência de plântulas (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	52
FIGURA 8. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	53
FIGURA 9. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	54
FIGURA 10. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 1 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	55
FIGURA 11. Mapa da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	57
FIGURA 12. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	58
FIGURA 13. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	59

FIGURA 14. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	60
FIGURA 15. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	61
FIGURA 16. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 2 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	62
FIGURA 17. Mapa da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	64
FIGURA 18. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	65
FIGURA 19. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	66
FIGURA 20. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	67
FIGURA 21. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	68
FIGURA 22. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 3 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	69
FIGURA 23. Mapa da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	70
FIGURA 24. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	72
FIGURA 25. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	73
FIGURA 26. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	74

FIGURA 27. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	75
FIGURA 28. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 4 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Campos de produção de semente de soja, com as respectivas áreas e cultivares, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	40
TABELA 2. Dados médios de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas em quatro campos, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	48
TABELA 3. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	50
TABELA 4. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	56
TABELA 5. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	64
TABELA 6. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.....	70

TABELA 7. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2) ajustados para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P), no campo 1. UFPel, 2013.....	79
TABELA 8. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2) dos ajustados para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P), no campo 2. UFPel, 2013.....	80
TABELA 10. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2), ajustados, para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P) no campo 4. UFPel, 2013.....	81
TABELA 11. Matriz de correlação de Pearson para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI) e massal (CEM), germinação (G), primeira contagem (PC), emergência de plântulas (E) e produtividade (P), em quatro campos de produção de sementes de soja. UFPel, 2013.....	83

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. A soja.....	20
2.2. Produção de sementes.....	22
2.3. Testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes.....	25
2.4. Manejo dos campos de produção de sementes.....	30
2.5. Agricultura de precisão.....	32
2.6. Geoestatística.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Campo 1.....	49
4.2. Campo 2.....	55
4.3. Campo 3.....	63
4.4. Campo 4.....	70
5. CONCLUSÃO.....	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA ESTIMADA PELA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA MASSAL E INDIVIDUAL

Autor: Nilson Matheus Mattioni

Orientador: Francisco Amaral Villela

RESUMO: Vários fatores podem afetar a qualidade fisiológica de sementes de soja em um campo de produção, sendo que esses não ocorrem de forma homogênea. O objetivo do trabalho foi determinar a variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja nos campos de produção em pré-colheita através do teste da condutividade elétrica massal e individual. As sementes foram colhidas seguindo uma malha georeferenciado, em quatro campos de produção de sementes (1, 2, 3 e 4). Foram determinadas a produtividade de cada ponto da malha de amostragem e a qualidade fisiológica das sementes através dos testes de germinação, primeira contagem, emergência de plântulas e condutividade elétrica massal e individual. Foi observada a variabilidade espacial da qualidade fisiológica das sementes entre os campos e também dentro de cada campo, porém com intensidade variável. Os testes de condutividade elétrica massal e individual mostraram-se precisos para estimar a qualidade fisiológica das sementes, com exceção do campo 3, evidenciada pela correlação significativa com os testes de germinação e emergência de plântulas. A variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja pode ser estimada através dos testes de condutividade elétrica individual ou massal, sendo maior a precisão em campos de produção com sementes de alta qualidade fisiológica.

Palavras chave: *Glycine max*, Agricultura de Precisão, Produção de Sementes, Controle de Qualidade.

SPATIAL VARIABILITY OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN SEEDS ESTIMATED FOR MASSAL AND INDIVIDUAL ELECTRICAL CONDUCTIVITY

Author: Nilson Matheus Mattioni

Advisor: Francisco Amaral Villela

ABSTRACT: Many factors can affect soybean seeds physiological quality in the field, and these factors do not occur in a homogeneous form. The aim of this study was to determine the spatial variability of soybean seed quality in a production fields during the pre-harvest by massal and individual electrical conductivity. Seeds were harvested following a grid georeferenced in four seed production fields (1, 2, 3 and 4). It was determined the yield of each grid point and seeds physiological quality by germination, first count of germination, seedling emergence, massal and individual electrical conductivity. Spatial variability of physiological seed quality between fields was observed and also within each field, but with varying intensity. The massal and individual electrical conductivity, have proved accurate in the estimation of seed physiological quality, except of the field 3, as evidenced by the significant correlation with the germination and seedling emergence. The spatial variability of soybean seeds physiological quality can be estimated by the massal and individual electrical conductivity, mainly in high vigor seeds.

Keywords: Glycine max, Precision Agriculture, Seed Production, Quality Control.

1. INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura de grande importância no Brasil e no mundo, tanto do ponto de vista econômico como alimentar. A espécie é considerada versátil, sendo, na grande maioria das vezes, destinada ao esmagamento para produção de óleo empregado na alimentação humana e à indústria de biocombustíveis, como também na produção de farelo para formulações de rações para animais. Segundo USDA (2012), somente 7% da soja produzida no mundo é destinada à produção de sementes, ao consumo humano e a outros usos, sendo o restante para produção de óleo e farelo.

Vários estudos têm mostrado a tendência de crescimento populacional mundial, que deve atingir nove bilhões de habitantes em 2050 (ASH et al., 2010). Diante disso, existe o desafio de desenvolver métodos avançados e eficientes para aperfeiçoar o processo de produção de alimentos e energia renovável sem, contudo, esgotar os recursos naturais. Em 2050, o mundo provavelmente estará vivendo sob a influência de três grandes crises anunciadas: a diminuição das reservas de petróleo, a escassez de água potável e a falta de alimentos para grande parte da população.

O desenvolvimento tecnológico atrelado à cultura da soja torna essa *commodity* um importante subsídio para sanar essas demandas, seja como fonte de proteína, óleo vegetal para consumo humano ou para biocombustível. Este fato decorre da eficiência da cadeia produtiva da soja, que a torna uma matéria-prima de baixo custo, quando o seu mercado estiver em equilíbrio.

O aumento de produtividade é fundamental para que seja suprida a demanda mundial por soja, visto que a expansão de áreas está cada vez mais limitada, devido a restrições geográficas, climáticas e legais. Para a viabilização de altas produtividades, é fundamental o manejo adequado e emprego de novas tecnologias.

Nesse processo, a semente constitui-se em insumo fundamental, pois é através dela que toda a tecnologia incorporada tanto pelos programas de melhoramento genético como pelas inovações biotecnológicas são disponibilizadas para os agricultores. A utilização de sementes de baixa qualidade pode comprometer a expressão do potencial genético das cultivares e até mesmo os eventos biotecnológicos por ela carregados. O uso de lotes de sementes de baixo vigor pode provocar reduções na produtividade, devido à desuniformidade no estabelecimento de plantas e estande abaixo do recomendado para determinada cultivar (KOLCHINSKI, et. al. 2005).

Para a obtenção de sementes de alta qualidade é fundamental o adequado manejo dos campos de produção, a fim de permitir o desenvolvimento satisfatório das sementes em formação. Além disso, torna-se necessário o estabelecimento de um eficiente programa de controle de qualidade das sementes, em todas as fases do processo de produção, para garantir a manutenção da qualidade da semente até a sua utilização na próxima safra. Segundo Lacerda (2007), os campos de produção de sementes exigem maior cuidado no controle de espécies invasoras, impurezas genéticas e, também, no controle de doenças e insetos-praga. Além disso, fatores como atributos de solo e estresses hídrico e térmico também influenciam na

qualidade das sementes produzidas. Como consequência, o custo em um campo de produção de sementes é mais elevado, comparativamente a uma lavoura de produção de grãos.

Os campos de produção estão sujeitos a uma série de fatores, que influenciam 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. Segundo Peske e Barros (2010), várias foram as pesquisas realizadas relacionando adubação com qualidade fisiológica e física de sementes. Identifica-se uma estreita relação entre a quantidade de nutrientes aplicados à planta-mãe e sua posterior determinação na semente. Entretanto, essa mesma tendência muitas vezes não é constatada em relação à qualidade das sementes pelos testes rotineiros de avaliação. Mesmo assim, já se determinou efeitos positivos de fósforo para sementes de soja (GUERRA, 2006). Salienta-se que solos ricos em cálcio propiciam a formação de tegumento em sementes de soja que as torna mais resistentes aos danos mecânicos (MARCOS FILHO, 2005).

Outro ponto a ser destacado é a existência de variabilidade espacial e temporal nos campo de produção e que pode influenciar tanto no rendimento quanto na qualidade final das sementes produzidas. Vários atributos do solo apresentam variabilidade espacial e, segundo Mondo et al. (2012), o teor de matéria orgânica, manganês e cobre possuem efeito significativo na germinação de sementes de soja. Ainda de acordo com Mattioni et al. (2012), a qualidade fisiológica de sementes de soja apresenta variabilidade espacial nos

campos de produção, sendo possível, no momento da colheita, obter regiões do campo produzindo sementes de alta qualidade e outras produzindo sementes de baixa qualidade.

Tendo em vista os elevados custos envolvidos na produção de sementes de alta qualidade, a identificação de ferramentas capazes de detectar essa variabilidade existente e prover uma informação prévia da qualidade da semente no momento da colheita pode auxiliar no gerenciamento dos campos de produção de sementes, evitando desperdício de recursos com sementes de baixa qualidade. Com o advento dos sistemas de posicionamento global (GPS) e programas geoestatísticos, o mapeamento de determinadas características ou propriedades dos solos e das plantas passou a ser factível, o que tornou possível a avaliação da variabilidade de vários atributos dentro de uma mesma área. Essas novas ferramentas permitiram uma série de estudos e possibilitaram elucidar questões que até então as metodologias tradicionais de pesquisas não tinham conseguido.

Diante do exposto, desenvolveu-se essa pesquisa com o objetivo de determinar a variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja nos campos de produção em pré-colheita, através do teste da condutividade elétrica massal e individual.

Além disso, os seguintes objetivos específicos foram delineados:

Determinar a intensidade da variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em diferentes campos de produção por meio de testes convencionais;

Avaliar a eficiência do teste da condutividade elétrica massal na segregação das zonas do campo de acordo com a qualidade fisiológica de sementes de soja;

Aferir a eficiência do teste da condutividade elétrica individual na estimação da viabilidade das sementes;

Estimar a correlação entre os testes de condutividade elétrica massal e individual com os testes convencionais de avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem como o seu centro de origem a Costa Leste da Ásia, provavelmente a China, no século XI aC., sendo considerada descendente da espécie *Glycine soja*, pertencente à família Fabaceae. Para essas civilizações, o grão chegou a ser considerado sagrado, tendo importante papel na dieta alimentar. A espécie difundiu-se por outros países do Oriente, chegando à Europa em 1712, trazida do Japão pelo cientista alemão Englebert Kaempher (BONETTI, 1981).

No Ocidente, a soja foi introduzida apenas na segunda década do século XX, nos Estados Unidos, ao iniciar a exploração comercial como forrageira e posteriormente como grão (BLACK, 2000).

No Brasil, a introdução da soja ocorreu em 1882, através do professor Gustavo Dutra, da Escola de Agronomia da Bahia, ao realizar os primeiros trabalhos de avaliação de cultivares trazidas dos Estados Unidos. A partir de então, vários foram os trabalhos de adaptação de cultivares e manejo da cultura nas condições de produção do país (EMBRAPA, 2004).

O primeiro cultivo de soja no Brasil ocorreu em 1914, no município de Santa Rosa, Rio Grande do Sul, porém, somente a partir da década de 1940 a cultura atingiu alguma importância econômica, com área cultivada de 640 ha e rendimento de 700 kg·ha⁻¹, no ano de 1941, no estado do Rio Grande do Sul. A partir da década de 1960, fortalecida pela política de subsídios ao trigo, à cultura se estabeleceu como economicamente importante para o Brasil, registrando aumento de produção de 206 milhões de quilogramas, no ano

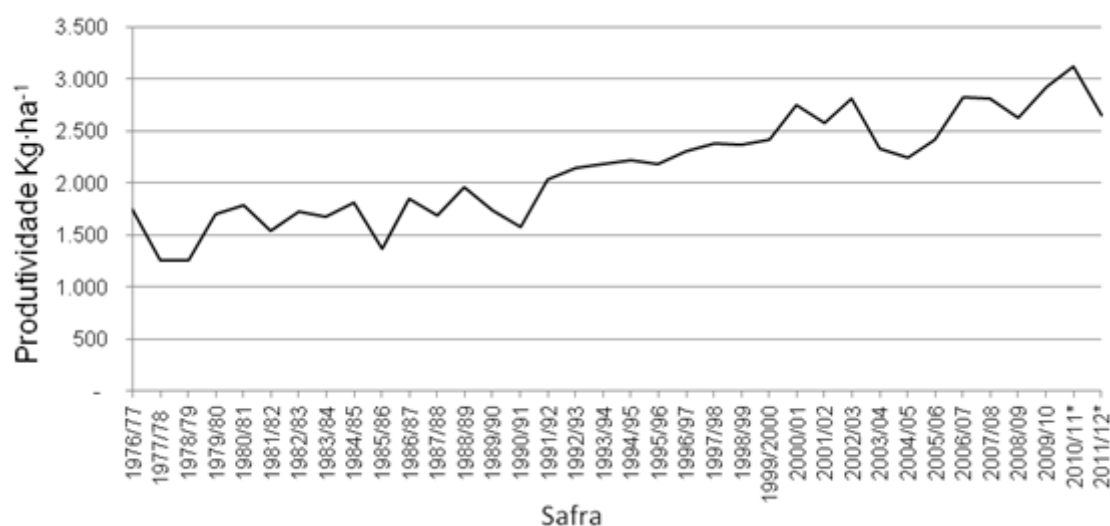
agrícola de 1960, para 1.056 milhões de quilogramas em 1969, sendo a produção concentrada nos estados da região Sul, e cultivada em sucessão à cultura do trigo (MIYASAKA, 1986).

A expansão do cultivo da soja no Brasil, a partir de 1980, foi rápida principalmente pelo retorno econômico, desenvolvimento de novas cultivares, adaptação às condições de cultivo no país e avanços tecnológicos que permitiram a introdução em novas áreas agrícolas do país, com consequente elevação dos níveis de produtividade (BLACK, 2000). Dentre os avanços tecnológicos, é possível citar o melhoramento genético de cultivares, o manejo mais adequado do solo e principalmente a biotecnologia. O Brasil é o segundo país em área cultivada com transgênicos, sendo que em 2011 o crescimento foi de 20% em relação ao ano anterior. Na soja, a área brasileira cultivada com transgênico chega a 82% da área total da cultura (JAMES, 2012).

Na safra 2010/2011, foram produzidos no mundo aproximadamente 263,7 milhões de toneladas de soja, em 103,5 milhões de hectares. Os EUA, o maior produtor mundial, apresenta produção aproximada de 90,6 milhões de toneladas em 31,0 milhões de hectares e produtividade média de $2.922 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (USDA, 2012).

O Brasil produziu na safra 2010/2011 aproximadamente 75 milhões de toneladas de soja em 24,2 milhões de hectares e, segundo a CONAB (2012) com uma produtividade média de $3.106 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 1). Segundo o MAPA, a soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas décadas e hoje corresponde a 49% da área cultivada com grãos no país. Nas décadas de 1970 e 1980, a produtividade brasileira era de aproximadamente $1.700 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Na década de 1990, observou-se um incremento na produtividade de soja brasileira, chegando na safra 2000/01 a uma produtividade próxima a 2.500 kg·ha⁻¹. Esse incremento de produtividade deve-se principalmente aos avanços tecnológicos e ao manejo e eficiência dos produtores.



* Dados estimados.

FIGURA 1. Produtividade média brasileira de soja no período entre as safras 1976/77 até 2011/12 (CONAB, 2012).

2.2. Produção de sementes

Estima-se que cerca de 10.000 anos atrás, o homem passou por uma transição em seu sistema de organização, a qual tem relação direta com o hábito de produzir e utilizar sementes. Até então, os grupos e aldeias viviam como nômades, mudando permanentemente de lugar à procura de alimentos. Com o passar do tempo, esses grupos passaram a dominar algumas técnicas e domesticar algumas espécies, tornando-se produtores de alimentos, complementando o que poderiam obter da natureza com as quantidades por

ele produzidas. As sementes tiveram um papel fundamental nesse processo, visto que eram coletadas na natureza, sementes de espécies de interesse alimentar ou medicinal. Também, estima-se que foi nessa época que alguns preceitos de armazenamento já foram observados, a fim de que as sementes fossem guardadas para serem semeadas posteriormente (MAZOYER e ROUDART, 2010).

Com o passar dos séculos, assim como a humanidade, a agricultura também passou por transformações evolutivas e, com o advento do capitalismo, a atividade tornou-se, além de uma forma de subsistência, um negócio, gerando renda capaz de garantir a sobrevivência e a melhoria das condições de vida das pessoas. Consequentemente, a busca por rendimentos econômicos tornou a atividade competitiva, levando à necessidade de insumos capazes de melhorar a eficiência das propriedades agrícolas, como fertilizantes, ferramentas e sementes (ALEXANDRATOS, 1995).

Com a Revolução Industrial, observou-se grande transformação do meio agrícola, com a concentração de pessoas nos centros urbanos e a consequente diminuição da mão de obra no meio rural. Com isso, aumentou ainda mais a pressão para que as pessoas que permanecessem no campo aumentassem ainda mais a produtividade de suas lavouras, a fim de produzir alimentos para os grandes centros urbanos que se formavam e matéria prima para as indústrias. Para cumprir com esse desafio, os agricultores da época passaram a utilizar a mecanização agrícola, insumos industrializados e sementes de boa qualidade, sendo essas produzidas por empresas, que

passaram a se especializar na pesquisa, melhoramento e produção de cultivares com maior patamar produtivo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

A produção de sementes foi objeto de fraudes desde os seus primórdios, porém, somente a partir dos primeiros anos do século XIX foram tomadas as primeiras providências para tentar coibir abusos no setor. Em 1816, em Berna, na Suíça, surgiu o primeiro decreto proibindo a venda de sementes de trevo adulteradas. Nessa época, as fraudes cometidas consistiam na mistura de sementes de trevo com areia peneirada, lavada e colorida a fim de se assemelhar às sementes ou então, na mistura com sementes semelhantes, mas de outras espécies mais baratas, ou ainda, na mistura com sementes da mesma espécie, mas de baixa qualidade ou inviáveis (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

A falta de organização do mercado de sementes permitia essas adulterações, sem maiores punições, pela ausência de leis. Sendo assim, foi evidenciada a necessidade de um órgão que verificasse se a lei estava ou não sendo observada, mediante critérios padronizados.

Com isso, surgiu na Alemanha, em 1869, o primeiro laboratório de análises de sementes do mundo, chefiado por Friederick Nobbe. Com o passar dos anos, surgiram outros laboratórios, não só na Alemanha como em outros países da Europa, fazendo com que Nobbe percebesse a necessidade de estabelecer regras para analisar sementes que fossem observadas por todos os laboratórios, para evitar resultados conflitantes. Para esse fim, foi elaborado

um manual que orientou os laboratórios de sementes por aproximadamente 50 anos (BUANEC, 2007).

Com o passar dos anos, foi se fortalecendo a necessidade de estabelecimento de leis, padrões e fiscalização do mercado, o que originou uma série de entidades, como a AOSA (Association of Official Seed Analysts) e a ISTA (International Seed Testing Association). Concomitantemente, foram sendo padronizados testes a fim de permitir a análise da qualidade física e fisiológica das sementes. Para orientar os laboratórios na execução desses testes, foram publicados vários livros com as metodologias padronizadas para os testes. Entre esses é possível citar as Regras Internacionais da ISTA e as Regras para Análise de Sementes do Brasil, cuja última versão foi publicada em 2009.

Com isso, os testes de análise da qualidade física e fisiológica de sementes foram se tornando fundamentais no mercado de sementes. Hoje, eles não são somente utilizados para a fiscalização, mas constituem-se também em ferramentas utilizadas no controle de qualidade do processo de produção de sementes.

2.3. Testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes

O teste de germinação é o mais utilizado em laboratórios para avaliação da qualidade fisiológica de sementes. Para este, já existem protocolos e padrões a serem seguidos, a fim de garantir a sua reprodutibilidade, o que o

faz ser aceito no estabelecimento dos padrões para comercialização de sementes.

Todavia, o teste de germinação apresenta limitações. Por ser conduzido em condições ideais de temperatura, substrato, umidade e luminosidade, a fim de possibilitar a expressão máxima da qualidade da semente, muitas vezes ele não representa o desempenho da semente no campo (MARCOS FILHO, 1999). Outro limitante também é o período de tempo necessário para sua execução, muitas vezes superior ao tolerável para a tomada de decisões no processo produtivo.

Como alternativa, têm-se desenvolvido uma série de testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica das sementes, para que as empresas produtoras de sementes disponham de ferramentas para a rápida determinação da viabilidade e do vigor, possibilitando o descarte de lotes de sementes de baixa qualidade, já na recepção ou no beneficiamento, com a consequente redução de custos de armazenamento desnecessário (MENEZES, 2013).

Os testes rápidos geralmente baseiam-se em processos bioquímicos, como atividade respiratória ou eventos envolvidos com o processo de deterioração das sementes. O teste de tetrazólio, por exemplo, fundamenta-se na coloração dos tecidos vivos das sementes em função das alterações na atividade respiratória. Já os testes de condutividade elétrica e do pH do exsudato estão baseados no aumento da permeabilidade das membranas à lixiviação de metabólitos que compõe a semente com o avanço processo de

deterioração. Esses são avaliados de forma indireta, sendo determinados na solução onde as sementes estão imersas durante a embebição (CARVALHO et al., 2002).

O teste de tratrazólio baseia-se na atividade das enzimas desidrogenases, que catalisam as reações respiratórias nas mitocôndrias, durante a glicólise e o ciclo de Krebs. Estas enzimas reduzem o sal 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio, ou sal de tetrazólio, nos tecidos vivos, que resulta no trifenilformazan, um composto vermelho, estável e não difusível. Assim, os tecidos vivos, ou seja, com atividade respiratória, mudam sua cor para vermelho, porém com tonalidade variável de acordo com a intensidade da atividade respiratória. Se o tecido é vigoroso, predomina a formação da cor vermelho carmim, porém, se o tecido está em deterioração, ocorre a formação de um vermelho mais intenso, resultante da maior intensidade de difusão da solução com o sal de tetrazólio pelas membranas celulares deterioradas desses tecidos. Se a solução é difundida pelo tecido morto, a redução do sal não ocorrerá e, portanto, essas regiões não alteram a sua coloração (AOSA, 1983 e MOORE, 1985).

A avaliação da qualidade fisiológica de sementes através do teste de condutividade elétrica está relacionada aos eventos iniciais da sequência do processo de deterioração proposta por Delouche e Baskin (1973), como a degradação das membranas celulares. O teste de condutividade elétrica destaca-se por preencher os três requisitos básicos relacionados por Matthews e Powell (1981), pois fundamenta-se em base teórica consistente, proporciona resultados reproduzíveis e correlacionados à emergência em campo, além de

envolver procedimento simples, de baixo custo e com a vantagem adicional de fornecer resultados em até 24 horas.

O processo de deterioração da semente de soja tem sido ampla e profundamente estudado, porém, o mecanismo exato ainda permanece sem explicação. Entretanto, é notório que a deterioração está relacionada a diversos fatores, como danos aos cromossomos e ácidos nucleicos, alterações nos sistemas de membranas e enzimáticos, degradando o sistema respiratório, diminuindo a produção de ATP e desorganizando as membranas celulares. Em função da perda da compartimentalização celular, a desintegração do sistema de membranas promove descontrole do metabolismo e a lixiviação de solutos das células para o meio exterior, determinando a redução da viabilidade da semente (MARCOS FILHO, 1999). Esta lixiviação compreende a exsudação de substâncias como açúcares, ácidos graxos, aminoácidos, ácidos orgânicos e íons inorgânicos – K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} (AOSA, 2002). Esses compostos lixiviados aumentam a condutividade elétrica da solução onde as sementes estão imersas e também altera o seu pH.

Com isso, é perceptível a relação existente entre o decréscimo na germinação e no vigor e o aumento da liberação de solutos, indicando a avaliação da condutividade elétrica, bem como do pH do exsudato da solução onde as sementes foram embebidas como, uma eficiente forma de estimativa da qualidade fisiológica das sementes (MARCOS FILHO, 2005).

O teste de condutividade elétrica pode ser realizado de forma massal ou individual. No teste de condutividade elétrica massal, a qualidade das

sementes é avaliada através da imersão de um determinado número de sementes em água e posteriormente é realizada a determinação da condutividade elétrica da solução de embebição, que indicará o nível de qualidade do lote avaliado. Assim, os menores valores, correspondentes à menor liberação de exsudatos, indicam alto potencial fisiológico, revelando menor intensidade de desorganização dos sistemas membranais das células (VIEIRA et al., 2002).

Outro método de estimativa da qualidade fisiológica de sementes é o realizado de forma individualizada. A determinação da condutividade individual foi proposta por Steere et al. (1981). O método foi desenvolvido para corrigir distorções na condução do teste com sementes duras ou danificadas, que apresentavam variações na capacidade de lixiviação. Se uma semente danificada compõe a amostra de trabalho, no método massal isso pode acarretar aumento excessivo da condutividade elétrica, não correspondendo à verdadeira qualidade fisiológica do lote. Se, porém, uma semente dura estiver presente pode ocorrer redução da lixiviação e da condutividade elétrica, podendo ocasionar um resultado divergente da real qualidade do lote avaliado. O princípio do teste é basicamente o mesmo do sistema massal, a diferença está no fato de as sementes serem colocadas para embebição em uma bandeja, contendo células, cada uma correspondendo a uma semente a ser avaliada por um aparelho automático, sendo os resultados obtidos individualmente para cada célula (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999).

2.4. Manejo dos campos de produção de sementes

Na fase de produção, é fundamental o manejo do campo, visto que, se a semente produzida for de baixa qualidade, isso inviabilizará as demais etapas do processo produtivo. Porém, o manejo de um campo de sementes diferencia-se de uma lavoura de produção de grãos, entre outros fatores, pelo emprego de isolamento, controle de pragas e doenças, objetivando a produção de sementes de alta qualidade. Por possuir um maior valor agregado e ser comercializada por um preço superior ao grão, permite um maior investimento por parte dos agricultores, adotando-se níveis de controle de insetos mais baixos e trabalhando no controle preventivo de doenças, além de uma adubação mineral maior.

Os fatores ambientais afetam a constituição da semente, conforme Nedel (2003) e entre esses, destacam-se temperatura, umidade e nutrientes do solo. Os efeitos da nutrição adequada refletem-se principalmente no tamanho e massa das sementes produzidas (MARCOS FILHO, 2005), características também afetadas pela compactação do solo (MATTIONI et al., 2012).

Além disso, cuidados adicionais devem ser tomados na operação de colheita, pois nesse momento podem ocorrer sérios danos à qualidade das sementes. A máxima qualidade fisiológica das sementes ocorre no momento da maturidade fisiológica, sendo que após as sementes ficam somente armazenadas no campo em condições muitas vezes adversas. Portanto, essas sementes devem ser colhidas quando pela primeira vez o grau de umidade encontra-se abaixo de 18%, durante o processo natural de secagem na planta, reduzindo a deterioração em campo (PESKE, 2003).

A colheita no momento ideal nem sempre é possível e, além disso, a variabilidade de condições dentro de um campo de produção de sementes, segundo Mattioni et al. (2012), determina a desuniformidade da qualidade fisiológica das sementes. Sendo assim, para garantir a produção de sementes de soja com alta qualidade, é fundamental a existência de um controle de qualidade (CQ) eficiente durante todo o processo de produção (FRANÇA NETO et al., 2007).

O CQ de sementes compreende as fases de produção, pré-colheita, colheita, recepção, secagem, beneficiamento, armazenamento e comercialização (PESKE e BARROS, 2003). Esse controle basicamente consiste nos registros e parâmetros que o produtor de sementes utiliza a fim de garantir a rastreabilidade dos lotes de sementes, bem como para obter sementes de alta qualidade com um mínimo de descarte e custos.

Um eficiente Programa de Controle de Qualidade envolve a escolha da semente, seleção de campos de produção com adequadas características de solo, descontaminação dos campos, determinação de umidade, testes para avaliação rápida de viabilidade, germinação, vigor, eficiência e eficácia dos equipamentos e registros diversos para conhecimento do histórico da semente.

Os testes para avaliação rápida são fundamentais para estimar a qualidade fisiológica das sementes, dentro do controle de qualidade, visto que a tomada de decisão geralmente tem que ser realizada, muitas vezes, com prazos de dois a três dias. Entretanto, os testes de germinação e vigor, para soja, necessitam um período superior a uma semana para gerar resultados (FRANÇA NETO et al., 2007).

Além disso, podem ser diagnosticadas inconformidades durante o processo e tomadas as ações corretivas necessárias. Através do teste de tetrazólio, por exemplo, podem ser identificados danos mecânicos gerados por equipamentos durante o beneficiamento (FRANÇA NETO e HENNING, 1992).

2.5. Agricultura de precisão

A busca pela eficiência na agricultura, a fim de maximizar o retorno dos recursos investidos, garantindo a sustentabilidade ambiental, tem levado a constantes pesquisas e desenvolvimento visando à melhoria de processos, dentro do ciclo produtivo. Nesse contexto, a agricultura de precisão tem um importante papel, trazendo para os agricultores e técnicos informações para subsidiar tomadas de decisões e obtenção de respostas mais precisas, e assim diminuir o impacto ambiental da atividade.

A agricultura de precisão constitui-se em técnica de gerenciamento sistêmico que se propõe a aperfeiçoar o processo agrícola, permitindo a aplicação de insumos nos locais pré-estabelecidos e nas quantidades requeridas (FRAISSE, 1998). Conforme McBratney et al. (2005), pode ser entendida como a gestão localizada ou aplicação variável dos fatores de produção. Este tipo de manejo utiliza, basicamente, ferramentas que permitem gerir a variabilidade espacial e temporal e estabelecer meios de compreensão e controle dos fatores do campo.

Os preceitos da agricultura de precisão pressupõem a elaboração e utilização de mapas que descrevam as características e atributos de uma área e buscam representar espacialmente a variabilidade dos atributos do solo,

produtividade e características da cultura observadas em campo. Com base nessas informações, são tomadas as decisões que envolvem o manejo localizado das áreas. Dessa forma, torna-se essencial que a escolha dos métodos para geração dos mapas seja feita com base em critérios bem estabelecidos.

Com o advento dos sistemas de posicionamento global (GPS) e programas geoestatísticos, o mapeamento de determinadas características ou propriedades dos solos e das plantas foi facilitado, assim como a avaliação da variabilidade de vários atributos dentro de uma mesma área. Tentativas de dividir a lavoura em parcelas e tratá-las de forma diferenciada já foram propostas e testadas, conforme Lamparelli (2001). Entretanto, apenas recentemente, com o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, tem sido possível realizar esse tipo de procedimento de forma mais simples e rápida. Essas ferramentas permitiram uma série de estudos e elucidaram questões que até então as metodologias tradicionais de pesquisa não tinham conseguido, além de surgir novas técnicas de gerenciamento de lavouras como a agricultura de precisão.

Vários estudos têm demonstrado a heterogeneidade dos atributos do solo. Em uma lavoura de oito hectares, usando o coeficiente de variação como medida da variabilidade, Mulla (1993) obteve para 172 amostras de solo um coeficiente de variação de 39,7% para nitrato, 50,5% para fósforo, 41,3% para matéria orgânica e 10,8% para pH do solo. Estudando a variabilidade dos atributos do solo em oito lavouras sob sistema de plantio direto no Rio Grande

do Sul, Schlindwein e Anghinoni (2000) obtiveram os valores do coeficiente de variação na ordem de 9,8% para matéria orgânica; 7,0% para pH em água; 29,9% para potássio e 33,3% para fósforo. A compactação do solo dos campos de produção de sementes também ocorre de forma heterogênea, com valores podendo variar de 0,3 até 3,3 MPa e com um coeficiente de variação de 14,34 (MATTIONI et al., 2012). Em uma lavoura de soja com 57 hectares, em Palmeira das Missões, em área considerada com fertilidade do solo adequada, Amado et al. (2007) mostraram diferenças de rendimento de grãos de 25 a 70 sacos por hectare de soja.

A variabilidade espacial dos fatores de solo, ataque de pragas e disponibilidade hídrica afetam a qualidade das sementes nos campos de produção. Segundo Mattioni et al. (2011), além da variabilidade da produtividade, a germinação, o vigor e o tamanho da semente também apresentam variabilidade espacial. Em um campo de produção de sementes de 60,6 ha, foram observadas variações de produtividade de 2,7 a 4,2 toneladas, germinação de 61 a 93% e vigor, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, de 30 a 89%. Fatores como o ataque localizado de pragas, a variabilidade espacial de atributos de solo, bem como da disponibilidade hídrica tem efeito sobre a qualidade das sementes produzidas. A compactação do solo, determinada através da resistência à penetração, afeta o tamanho das sementes produzidas, sendo que em áreas do campo de produção cujo solo é mais compactado, há maior produção de sementes menores do que em áreas cujo solo apresenta menor resistência à penetração (MATTIONI et al., 2012).

2.6. Geoestatística

O termo geoestatística tem origem na mineração e objetiva explicar fenômenos que têm em comum aspectos característicos das variáveis estudadas e cuja distribuição de valores está associada à sua posição no espaço. Uma característica importante é a autocorrelação espacial, ou seja, dado um valor de uma variável numa determinada posição do espaço, a suposição básica da autocorrelação é que, em pontos próximos a essa posição, os valores sejam não muito diferentes, a menos que alguma ocorrência implique variação maior dos valores da variável medida.

Segundo Vieira (2000), se uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica não deve ser aplicada, sendo recomendável adotar a geoestatística. Alguns dos seus principais conceitos utilizados são a variável regionalizada, o variograma e a krigagem.

O termo variável regionalizada corresponde a variáveis cujos valores assumidos são tratados considerando-se a posição relativa entre os pontos amostrados no espaço. Os valores que essa variável regionalizada assume tem duas componentes: uma aleatória, intrínseca ao fenômeno estudado, e outra espacial, pela qual esses valores não se distribuem espacialmente de forma aleatória, mas com dependência dentro de certa distância e direção. Assim sendo, o valor da variável regionalizada medido em determinado ponto sofre e exerce influência nos valores da mesma variável, medidos nos pontos localizados na vizinhança (QUINTANILHA e DOZZI, 1989).

O variograma caracteriza a autocorrelação espacial, dada uma configuração de como os dados foram obtidos (amostra) e, permite investigar se o fenômeno estudado é espacialmente autocorrelacionado. Se o variograma é o mesmo em todas as direções (ângulos), significa que não há autocorrelação espacial nessa amostra. O variograma pode ser considerado uma decomposição espacial da variância da amostra (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1992).

A modelagem do variograma é realizada através do ajuste com modelos teóricos conhecidos, como os modelos esférico, exponencial, parabólico (de Gauss) e linear. O estimador da função variograma da variável regionalizada z , entre dois pontos, x_i e x_j , separados de uma distância h é expresso por:

$$\gamma^*(\underline{h}) = \frac{1}{2N_{\underline{h}}} \sum_{(i,j) \in P_{\underline{h}}}^{N_{\underline{h}}} (z_i - z_j)^2$$

sendo $N_{\underline{h}}$ o número de pares distintos de valores localizados em $P_{\underline{h}}$ (região constituída de todos os pares de pontos distantes h entre si).

Na Figura 3, é apresentado um exemplo do variograma com os respectivos parâmetros.

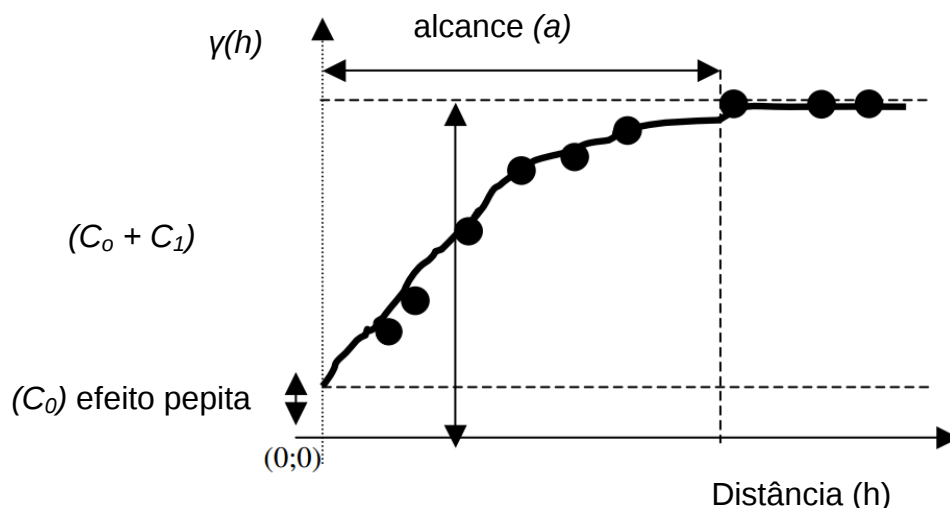


FIGURA 2. Representação dos parâmetros de um variograma.

- a. efeito pepita (C_0) – indica a quantidade de ruído existente nos dados (decorrentes, por exemplo, de calibração de aparelhos), ou o nível mínimo que o procedimento amostral adotado consegue detectar nas distâncias consideradas;
- b. patamar $(C_0 + C_1)$ – indica quanto da variância é explicada pelo modelo; o valor do patamar inclui o efeito pepita;
- c. alcance (a) - indica a distância dentro da qual os dados são correlacionados;
- d. anisotropia – variogramas são calculados em diferentes classes de ângulos de maneira a testar a existência da componente direcional, a anisotropia. Se os variogramas das diferentes direções são similares, o modelo é dito isotrópico ou unidirecional.

A krigagem parte do mesmo princípio da variável regionalizada, sendo o estimador ótimo baseado no variograma. As equações de krigagem são derivadas a partir da suposição que os variogramas são válidos (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). A krigagem é considerada um método do tipo BLUE (Best Linear Unbiased Estimator - Melhor Estimador Linear não-Viciado). Linear porque as suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados existentes. Não enviesada porque procura que a média dos erros (desvios entre o valor real e o valor estimado) seja nula; é a melhor porque os erros de estimação apresentam uma variância (variância de estimação) mínima (JOURNEL, 1988).

Os tipos mais comuns de krigagem são global, local, ordinária ou simples, por blocos e indicativa. Os resultados obtidos da krigagem podem ser validados ou pela chamada validação cruzada, removendo alguns pontos do conjunto de dados os quais são estimados via krigagem. A comparação pode ser feita através da observação de um gráfico entre valores reais e estimados. A validação pode ser feita também pela variância de krigagem ou variância das estimativas.

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas. Todos os cálculos de geoestatística dependem do valor do modelo do semivariograma para cada distância especificada.

O modelo de semivariograma de melhor ajuste para cada variável é determinado de acordo com o coeficiente de correlação entre os dados

originais e os dados estimados pelos semivariogramas, técnica denominada de validação cruzada. Como regra, quanto mais simples puder ser o modelo ajustado, melhor, sendo que os mais utilizados são o esférico, o exponencial e o gaussiano (VIEIRA, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em quatro campos de produção de sementes, na safra 2011/12, na região central do Estado do Rio Grande do Sul, conforme a Tabela 1. Para a escolha dos campos buscou-se dois campos com a mesma cultivar (campos 1 e 3) e outros dois menores, para adotar uma malha de amostragem mais densa (campos 2 e 4).

TABELA 1. Campos de produção de sementes de soja, com as respectivas áreas e cultivares, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

CAMPO	ÁREA (ha)	CULTIVAR	Amostragem
			amostra:área (ha)
1	4,3	NA 5909 RG	1: 0,10
2	11,4	BMX Turbo RR	1: 0,25
3	5,9	NA 5909 RG	1: 0,10
4	12,7	A 4725 RG	1: 0,25

A semeadura do campo 1 e 2 foi realizada nos dias 05 e 06 de novembro de 2011 e os campos 3 e 4, nos dias 20 e 25 de novembro de 2011, respectivamente. A adubação de base foi realizada segundo a SBSCS/CQFS (2004), com base na análise de solo realizada previamente a semeadura a uma taxa fixa em cada campo. Os campos 1, 2 e 3, são cultivados a mais de 10 anos com soja na safra de verão e aveia ou trigo na safra de inverno. A safra 2011/12, foi o primeiro ano de cultivo do campo 4, sendo que o mesmo era utilizado antes como pastagem cultivada.

A safra 2011/12 foi caracterizada por regime de chuvas abaixo do normal e períodos de déficit hídrico, o que comprometeu a produtividade das culturas, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Todos os campos situavam-se na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul e estavam homologados pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para produção de sementes de soja. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, que significa subtropical úmido sem estação seca definida e com verões quentes (MORENO,1961). O solo é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico Arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico Umbrico), conforme Brasil, (1973).

A aplicação de produtos fitossanitários foi realizada seguindo os níveis de controle de insetos e preventivamente para as doenças. Por serem áreas para produção de semente, foi dada atenção especial para o controle de percevejos, com pelo menos 2 aplicações de inseticidas para esta praga.

Com auxílio de um GPS de navegação, foi realizado o caminhamento, no sentido anti-horário, para determinar o perímetro de cada área, e posteriormente os pontos foram transferidos para um computador, com auxílio do “Sistema Agropecuário CR – Campeiro 7” (GIOTTO et al., 2004). Através do mesmo sistema, foi estabelecida uma malha de amostragem para cada campo, conforme a densidade apresentada na Tabela 1, e os pontos espacializados, conforme a Figura 3.

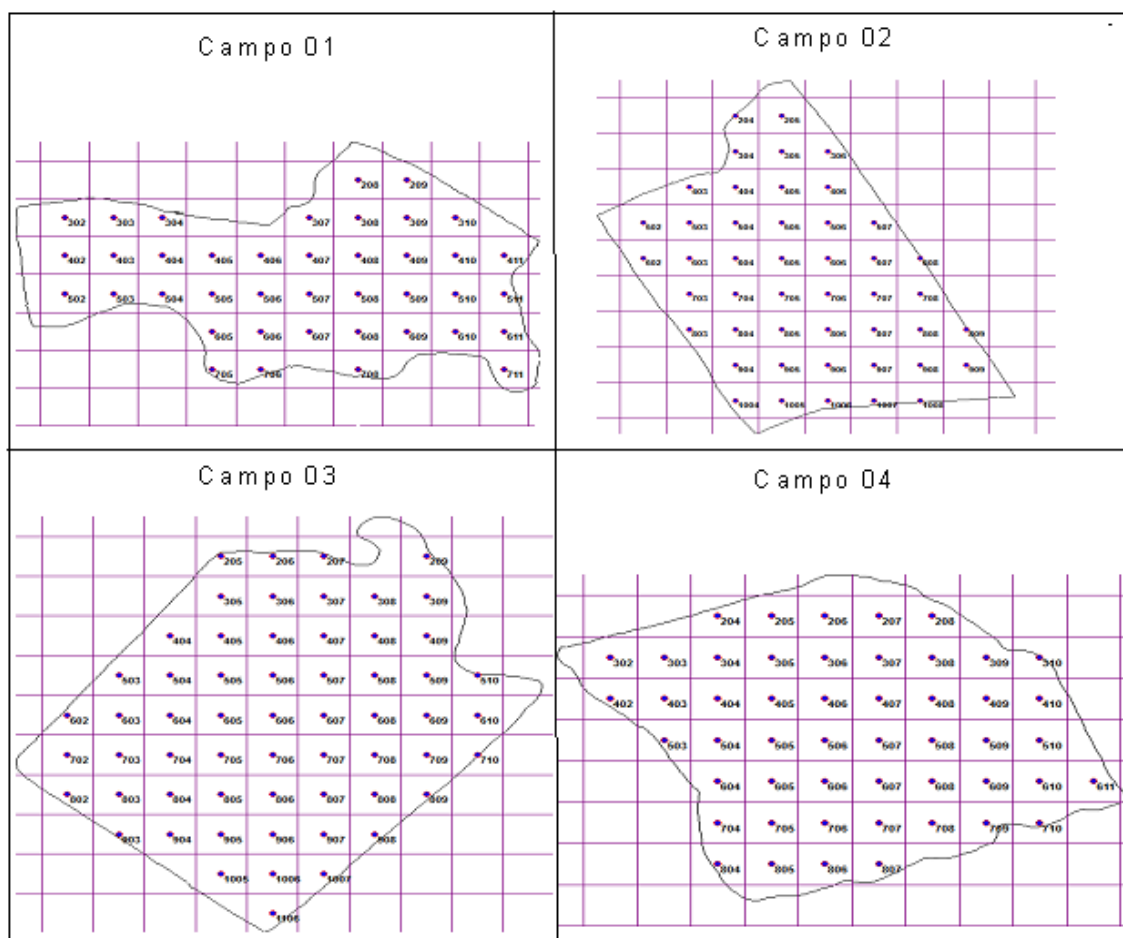


FIGURA 3. Malha georeferenciada para coleta de amostras de sementes de soja em quatro campos de produção, com densidade de 1 amostra para cada 0,1 ha para os campos 1 e 3 e de 1 amostra para cada 0,25 ha para os campos 2 e 4. UFPel, 2013.

Para obtenção das amostras de sementes, foram colhidas as plantas em quatro parcelas de 1m^2 em cada ponto da malha de amostragem, sendo que as quatro subamostras formaram a amostra média do ponto. Para demarcação das áreas a serem colhidas foi considerado o ponto da malha de amostragem como ponto central, onde foi coletada uma subamostra e as outras três foram coletados em um raio de 10 m a partir do ponto central, sendo o ângulo entre cada raio de 120° (Figura 4).

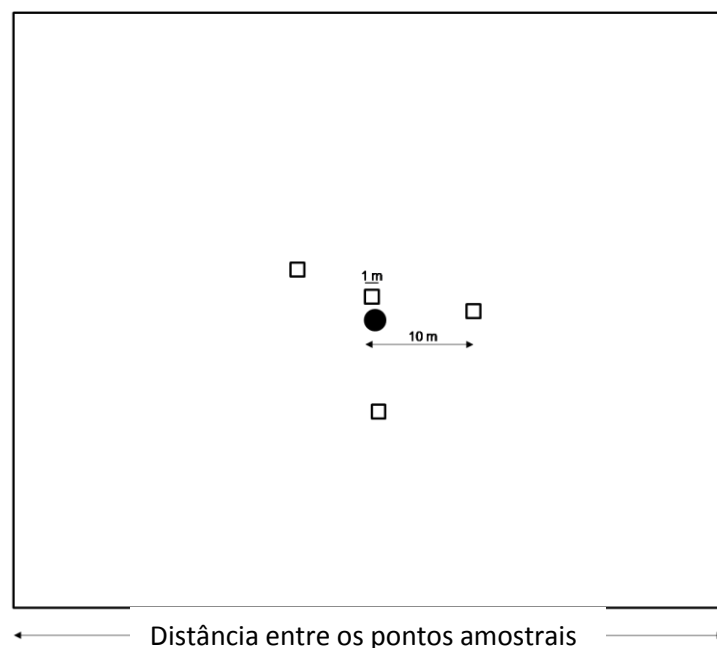


FIGURA 4. Representação da distribuição dos pontos amostrais das subamostras colhidas para determinação da produtividade e da qualidade das sementes, em cada posição da malha de amostragem. UFPel, 2013.

As sementes foram removidas utilizando uma trilhadora estacionária e as amostras de sementes foram submetidas a um conjunto de peneiras para retirada de impurezas. As amostras foram então secas, com o auxílio de uma estufa com circulação de ar, regulada a temperatura de 38 °C, até atingirem a umidade de 12,5%. A umidade das amostras para monitoramento da secagem foi determinada através de um determinador de umidade, marca Gehaka, modelo G929, calibrado pelo método da estufa, a 105 °C, ± 1 °C, por 24 horas.

Utilizando as amostras de sementes limpas e secas, foram realizadas as seguintes determinações:

Produtividade: As amostras foram pesadas em uma balança digital com precisão de 0,01g e os valores foram transformados em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e corrigidos para a umidade de 13%.

Teste de germinação – conduzido com 400 sementes por amostra, subdivididas em quatro repetições de 100 sementes, colocadas para germinar em substrato de papel de germinação, previamente umedecido em água utilizando-se quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Posteriormente, as sementes foram mantidas em germinador, na temperatura constante de 25 °C. As contagens de germinação foram efetuadas no quinto e no sétimo dia após a instalação do teste, segundo critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes- RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem – realizado conjuntamente com o teste de germinação, determinando-se o número de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste de germinação.

Emergência de plântulas - Foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes em canteiros com solo, em casa de vegetação. A contagem das plântulas normais emergidas foi realizada ao sétimo e ao décimo dia após a semeadura.

Condutividade elétrica massal - Foram empregadas quatro repetições de 50 sementes sem dano mecânico aparente, pesadas em balança com precisão de 0,01 g e colocadas para embeber em copos de plástico (capacidade de 200 mL) contendo 75 mL de água deionizada, durante 24 horas, a 25 °C (AOSA, 1983; VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999). Em seguida,

procedeu-se à leitura da condutividade elétrica em condutivímetro BEL W12D, sendo os resultados expressos em $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ de semente.

Condutividade elétrica individual – Foram utilizadas 400 sementes por amostra, subdivididas em quatro repetições de 100 sementes (1 bandeja com 100 células). Cada semente foi colocada individualmente em células contendo 6 mL de água deionizada. As sementes com tegumento visivelmente danificado foram substituídas e as bandejas foram mantidas a uma temperatura constante de 25° C, durante 24h. Após este período, a condutividade elétrica foi determinada para cada célula contendo a semente, através do condutivímetro SAD 9000S. Para determinação da viabilidade, adotou-se o ponto de partição $130 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, estabelecidos em trabalhos prévios para a cultura da soja com o equipamento.

Os dados gerados foram utilizados para a elaboração de modelos digitais (mapas) através do software “Sistema Agropecuário CR – Campeiro 7”. O método geoestatístico de interpolação utilizado na elaboração dos modelos digitais foi a krigagem, com raio máximo de pesquisa de 150 metros. Na escala de cores da legenda dos mapas, a região com os maiores valores dos parâmetros analisados foi representada pelas zonas de coloração verde, enquanto as zonas com parâmetros de menores valores foram representadas pela coloração vermelha.

A variabilidade espacial foi analisada adotando o critério de classificação para o coeficiente de variação (CV) proposto por Warrick & Nielsen (1980) para

medida estatística de dispersão. Seus valores revelaram-se como alto $> 24\%$, médio entre 12 a 24% e baixo $< 12\%$.

As correlações entre os modelos digitais foram determinadas baseadas no método de correlação de Pearson, em nível de probabilidade de 5%, através do software Winstat (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2007). Para tanto, os modelos digitais selecionados para gerar correlações entre si, eram espacialmente idênticos, isto é, apresentavam a mesma origem, mesmo espaçamento e mesmo número de linhas e de colunas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada campo de produção de sementes estudado apresentou variabilidade quanto à qualidade fisiológica e à produtividade dentro do próprio campo e também entre os campos. Na Tabela 2, é possível observar a diferença significativa entre a produtividade e qualidade fisiológica das sementes produzidas nos quatro campos. O campo 2 foi o mais produtivo, porém apresentou as sementes de qualidade similar ao campo 4.

Nos testes realizados, foi constatado que o campo 3 produziu as sementes de maior qualidade fisiológica comparativamente aos demais campos. As sementes produzidas nos campos 1 e 4 apresentaram desempenhos semelhantes, não diferindo significativamente nos testes de emergência de plântulas, primeira contagem da germinação e condutividade elétrica massal. Porém, no teste de germinação, as sementes produzidas no campo 1 mostram-se superiores às sementes produzidas no campo 4 e, no teste de condutividade elétrica individual, o campo 4 apresentou superioridade em relação ao campo 1. As sementes produzidas no campo 2 apresentaram qualidade fisiológica significativamente inferior às sementes produzidas nos demais campos, mesmo sendo o de maior produtividade.

TABELA 2. Dados médios de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas em quatro campos, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Campo	P (kg·ha⁻¹)	G (%)	E (%)	PC (%)	CEM (μS·cm⁻¹ g⁻¹)	CEI (%)
1	2423b	91b	64b	84ab	57b	44c
2	3222a	86c	50c	76c	72a	19d
3	2398b	95a	86a	87a	44c	93a
4	1704c	87c	63b	82b	57b	76b
CV%	15,4	5,3	15,5	7,8	13,9	14,0

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A variabilidade espacial de produtividade em lavouras de soja já foi observada por outros estudos. Em um campo de produção de sementes de soja de 60,6 ha, Mattioni et al. (2011) constataram diferença maior do que 1.500 kg entre o ponto de maior e o de menor produtividade. Além da variabilidade espacial, Amado et al. (2007) também observaram variabilidade temporal quanto à produtividade, para a cultura da soja, ao longo de três safras. Durante esse período, o coeficiente de variação apresentou os valores de 12, 18 e 24% e produtividade média de 3.209, 3281 e 2.210 kg.ha⁻¹.

Na safra 2011/12, ocorreram períodos de estiagem durante o desenvolvimento das plantas, comprometendo a produtividade dos campos, evidenciando também efeitos prejudiciais à qualidade fisiológica das sementes, os quais serão a seguir detalhadas.

4.1. Campo 1

O campo 1 apresentou produtividade média de 2423 kg.ha⁻¹ de sementes de soja (Tabela 2), da cultivar NA 5909 RG, sendo que a maior parte da área produziu entre 2.000 e 2.500 kg.ha⁻¹ (Figura 5).

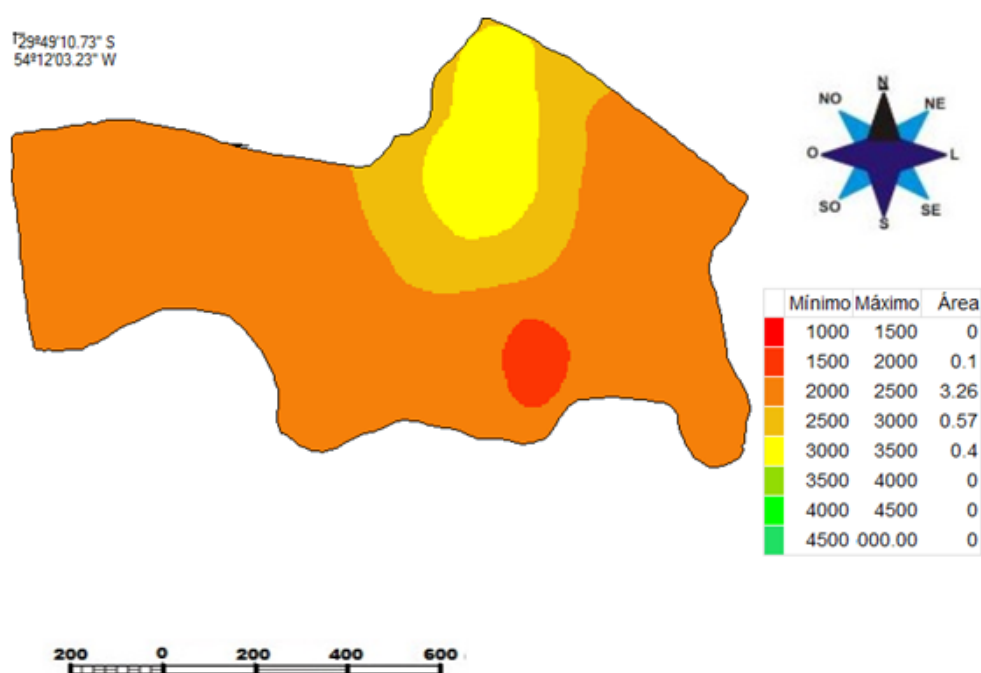


FIGURA 5. Mapa da produtividade (kg·ha⁻¹) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A produtividade mínima foi de 1932 kg·ha⁻¹ e máxima, de 3200 kg·ha⁻¹ (Tabela 3). Esse campo apresentou variabilidade espacial média, expresso pelo coeficiente de variação, de 13,2%.

TABELA 3. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

	P (kg·ha⁻¹)	G (%)	E (%)	PC (%)	CEM (μS·cm⁻¹·g⁻¹)	CEI (%)
Máximo	3.200	97	80	91	71	71
Médio	2423	91	64	84	57	44
Mínimo	1.932	84	41	83	49	21
CV%	13,2	4,0	19,4	4,6	9,6	28,4

A germinação das sementes produzidas no campo 1 ficou acima do padrão mínimo estabelecido para comercialização, sendo que aproximadamente 70% da área produziram sementes com germinação acima de 90% (Figura 6). A germinação média atingiu 91%, sendo baixa a variabilidade espacial, com coeficiente de variação de 4,0% (Tabela 3).

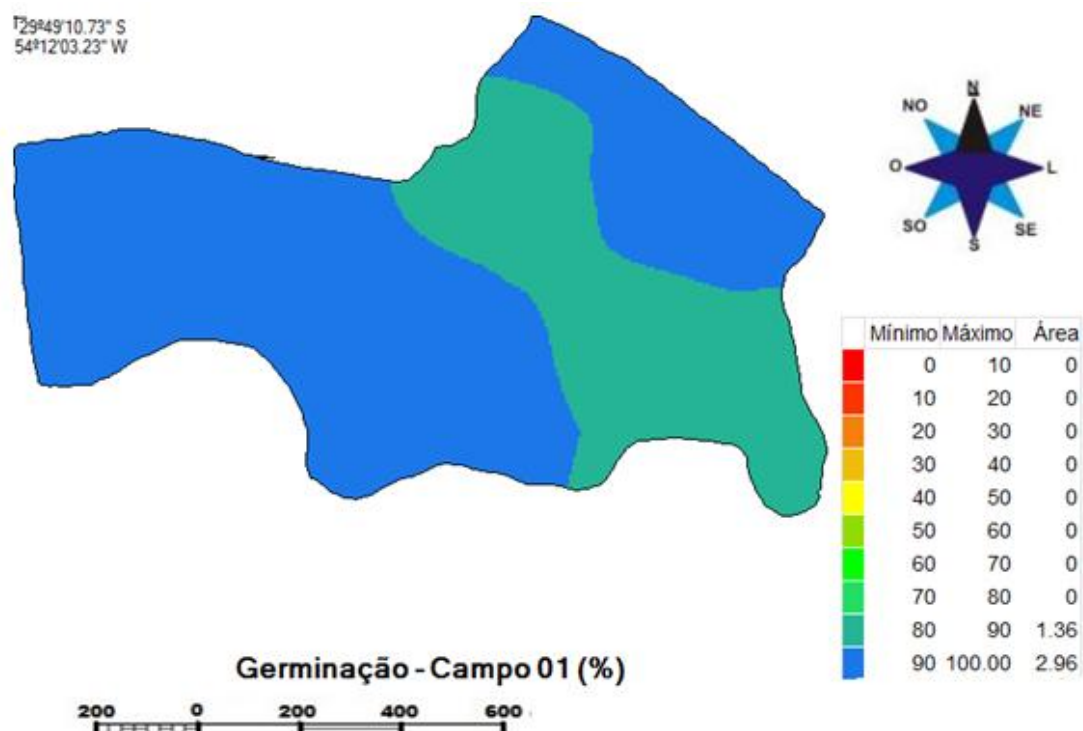


FIGURA 6. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Os dados de emergência de plântulas apresentaram valores menores do que no teste de germinação. Praticamente metade da área produziu sementes com emergência entre 70 e 80% (Figura 7). No restante da área, as sementes produzidas apresentaram emergência inferior a 70%. O teste de emergência de plântulas foi realizado em ambiente sem controle da temperatura e umidade do solo, o que não permitiu a máxima expressão do potencial da qualidade das sementes, estimado pelo teste de germinação.

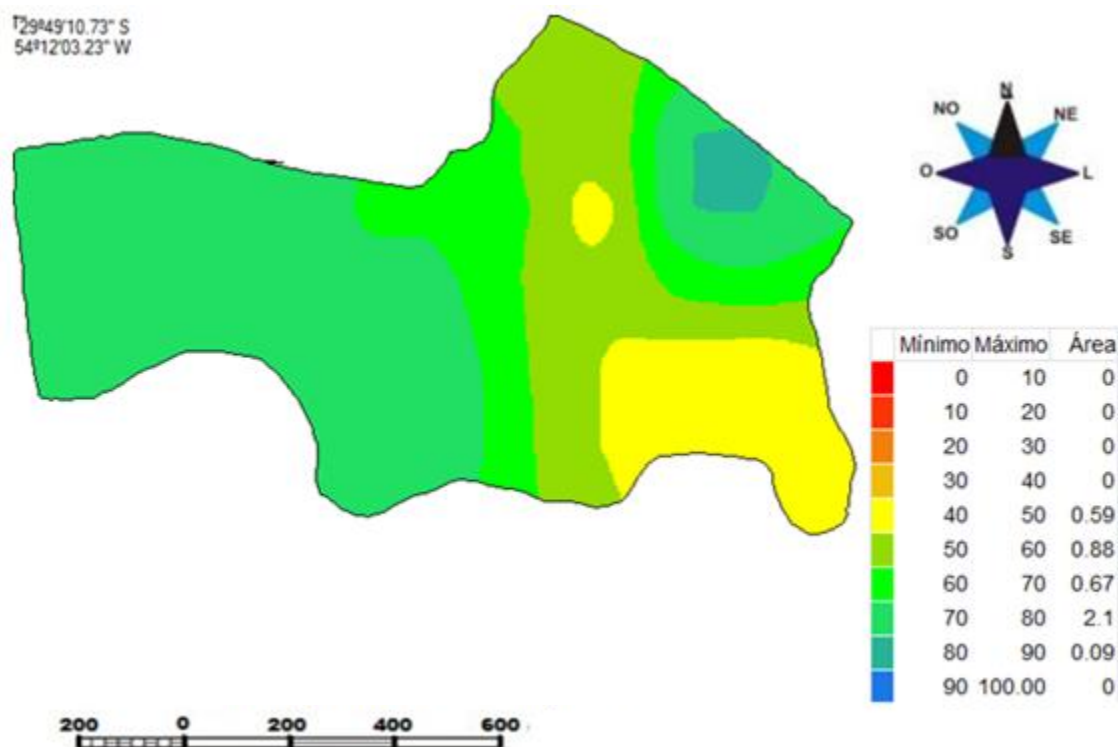


FIGURA 7. Mapa da emergência de plântulas (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Como indicativo do vigor das sementes, o teste da primeira contagem da germinação apresentou valor médio de 84% (Tabela 3). A maior parte da área produziu sementes entre 80 e 90% (Figura 8).

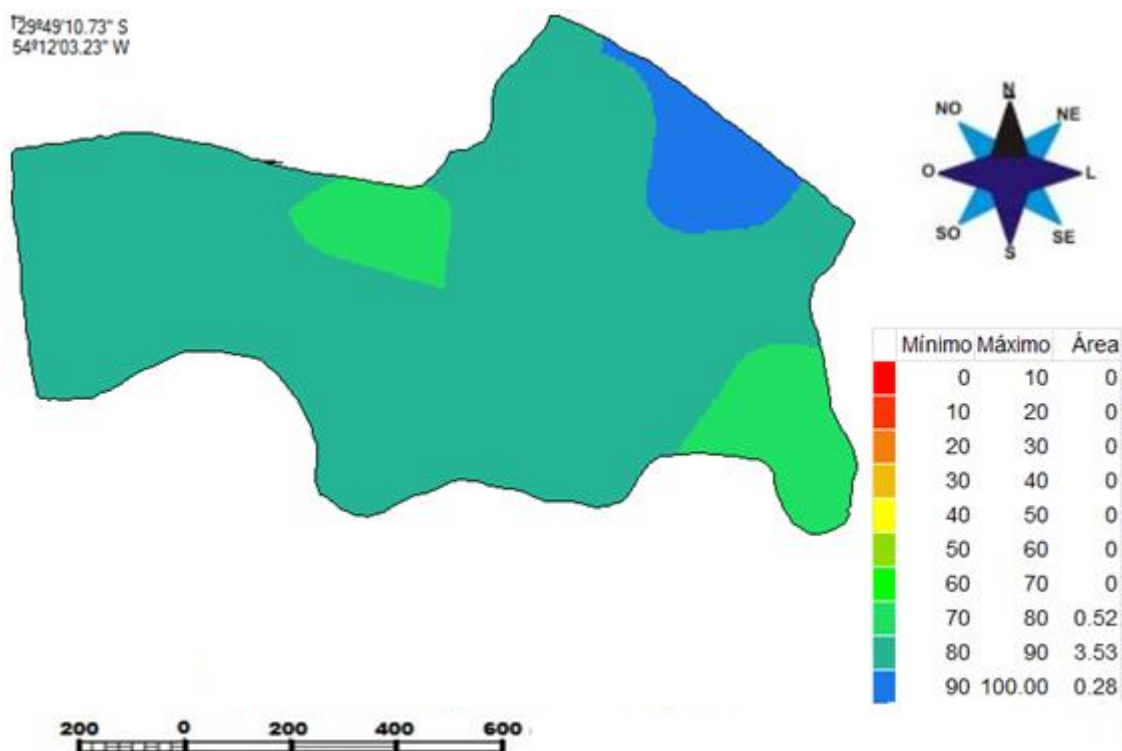


FIGURA 8. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Os valores de condutividade elétrica massal concentraram-se entre 50 e 60 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\text{g}^{-1}$, porém ocorreram valores máximos de 71 e mínimo de 49 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ (Figura 9 e Tabela 3). Trabalhando com diferentes cultivares de soja, Vieira et al. (2002) encontraram valores entre 49 e 84 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, que foram semelhantes aos encontrados por Dias e Marcos Filho (1996).

Vários fatores podem influenciar na determinação da condutividade elétrica, como o volume de água utilizado na embebição, a temperatura, a duração do teste, o número de sementes e a sua integridade física. Sendo assim, o estabelecimento de valores de referência para estimativa da

viabilidade de sementes de soja sofre influência de fatores que produzem incertezas, e por isso ainda não foram estabelecidos. Assim como outros testes de vigor, o teste de condutividade elétrica massal permite somente a comparação do potencial fisiológico entre diferentes lotes. A condutividade elétrica massal nos diferentes pontos amostrais possibilita comparar o potencial fisiológico das sementes nas diferentes regiões do campo de produção de maneira rápida, pois pode ser realizado em poucas horas.

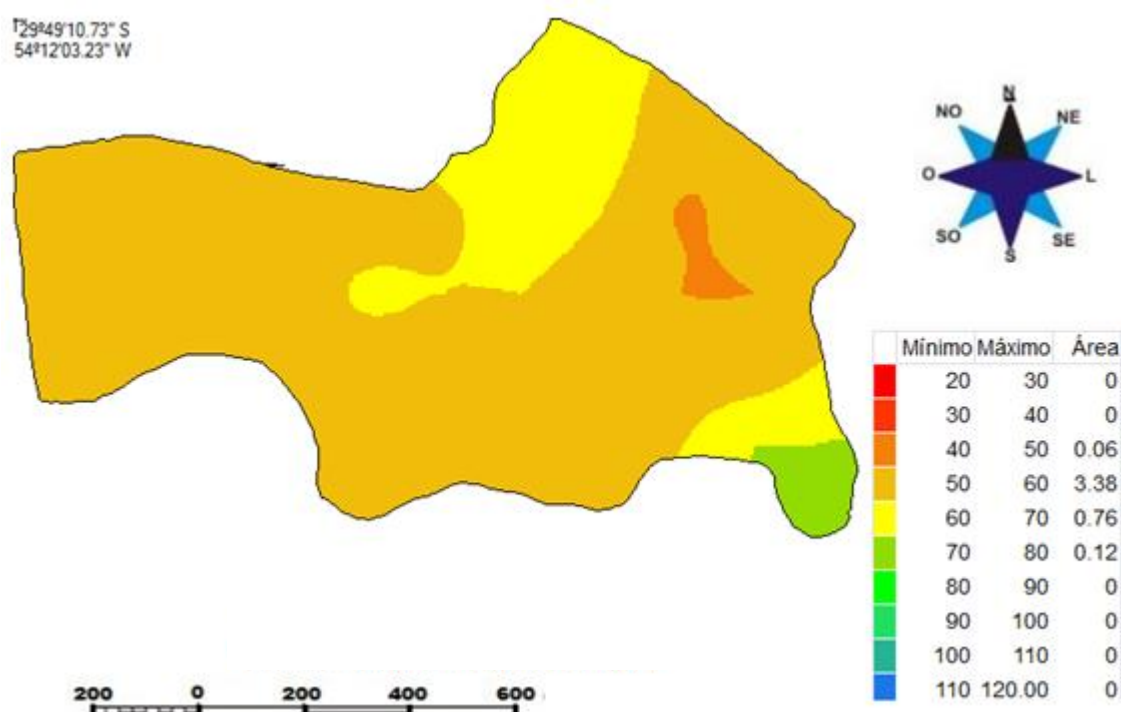


FIGURA 9. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 1, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A condutividade elétrica individual, no campo 1, estimou a viabilidade média das sementes desse campo em 44%. Os valores máximo e mínimo obtidos foram 71 e 21%, respectivamente (Tabela 3). Na Figura 10, é possível

observar a estratificação da área em seis classes distintas, conforme a condutividade elétrica individual das sementes, porém todas abaixo de 80%.

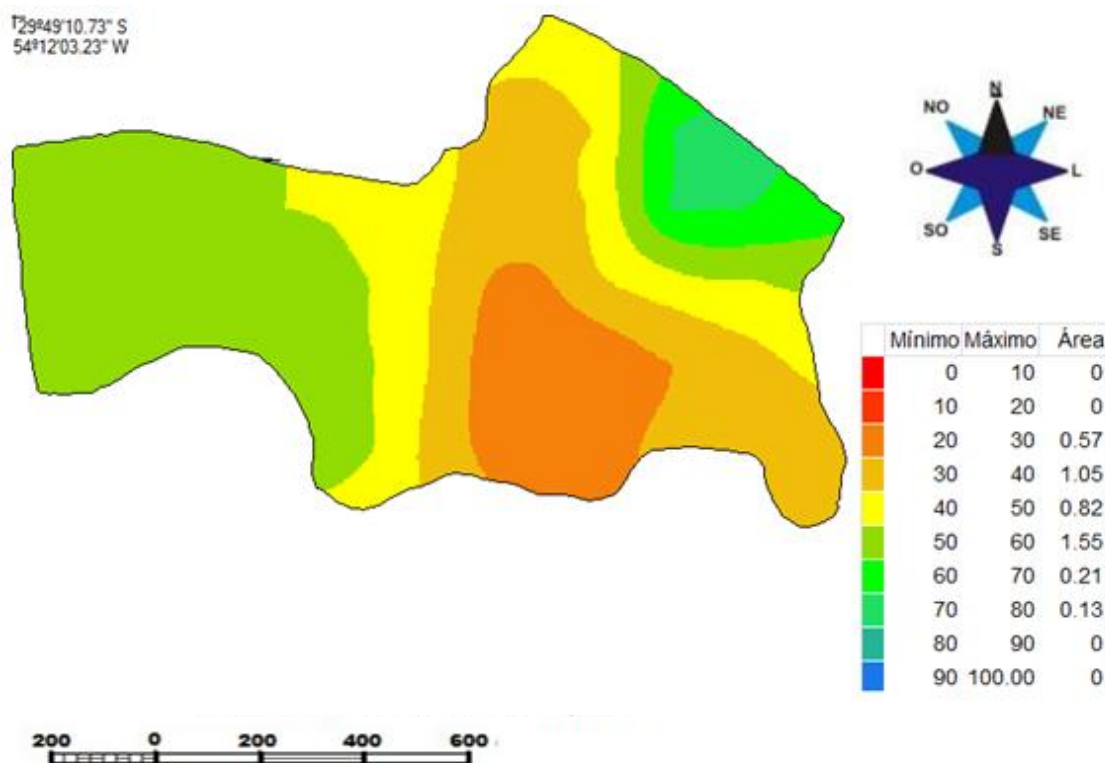


FIGURA 10. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 1, estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.

4.2. Campo 2

O campo 2 obteve produtividade média de $3.222 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de sementes de soja, cultivar BMX Turbo RR, sendo que praticamente a metade da área produziu entre 3.000 e $3.500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 11). A produtividade mínima apresentada foi de $2.409 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e a máxima de $4.104 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tabela 4). Esse

campo apresentou variabilidade espacial média, expresso pelo coeficiente de variação, de 19,2%.

TABELA 4. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

	P (kg·ha⁻¹)	G (%)	E (%)	PC (%)	CEM (μS·cm⁻¹ g⁻¹)	CEI (%)
Máximo	4.104	92	71	88	118	38
Médio	3.222	86	50	76	72	20
Mínimo	2.409	58	13	55	55	2
CV%	19,2	9,6	29,8	10,4	19,2	46,9

O mapa da produtividade do campo 2, permite estratifica-lo em 5 classes, sendo que em 0.54 ha, a produtividade foi superior a 4.000 kg·ha⁻¹. Assim, foi possível observar a elevada produtividade desse campo, comparativamente aos demais, mesmo em uma safra com baixa precipitação pluvial.

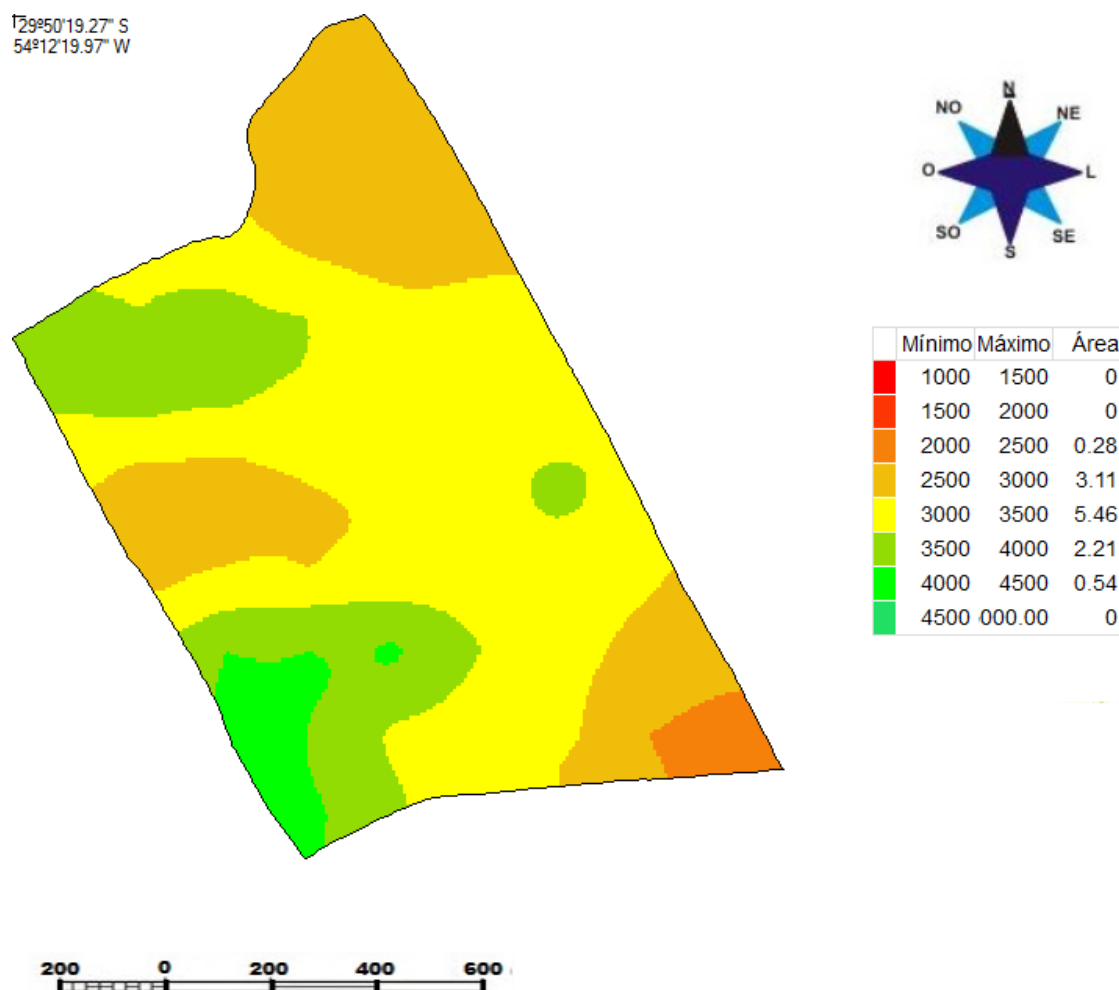


FIGURA 11. Mapa da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A germinação média das sementes produzidas no campo 2 foi de 86% (Tabela 4), sendo que apenas uma subárea de aproximadamente 1 ha, em uma das extremidades da área, apresentou germinação abaixo de 80% (Figura 12). É importante lembrar também que a maior parte da área produziu sementes com germinação entre 80 e 90%. A variabilidade espacial foi baixa, com um coeficiente de variação de 9,6%.

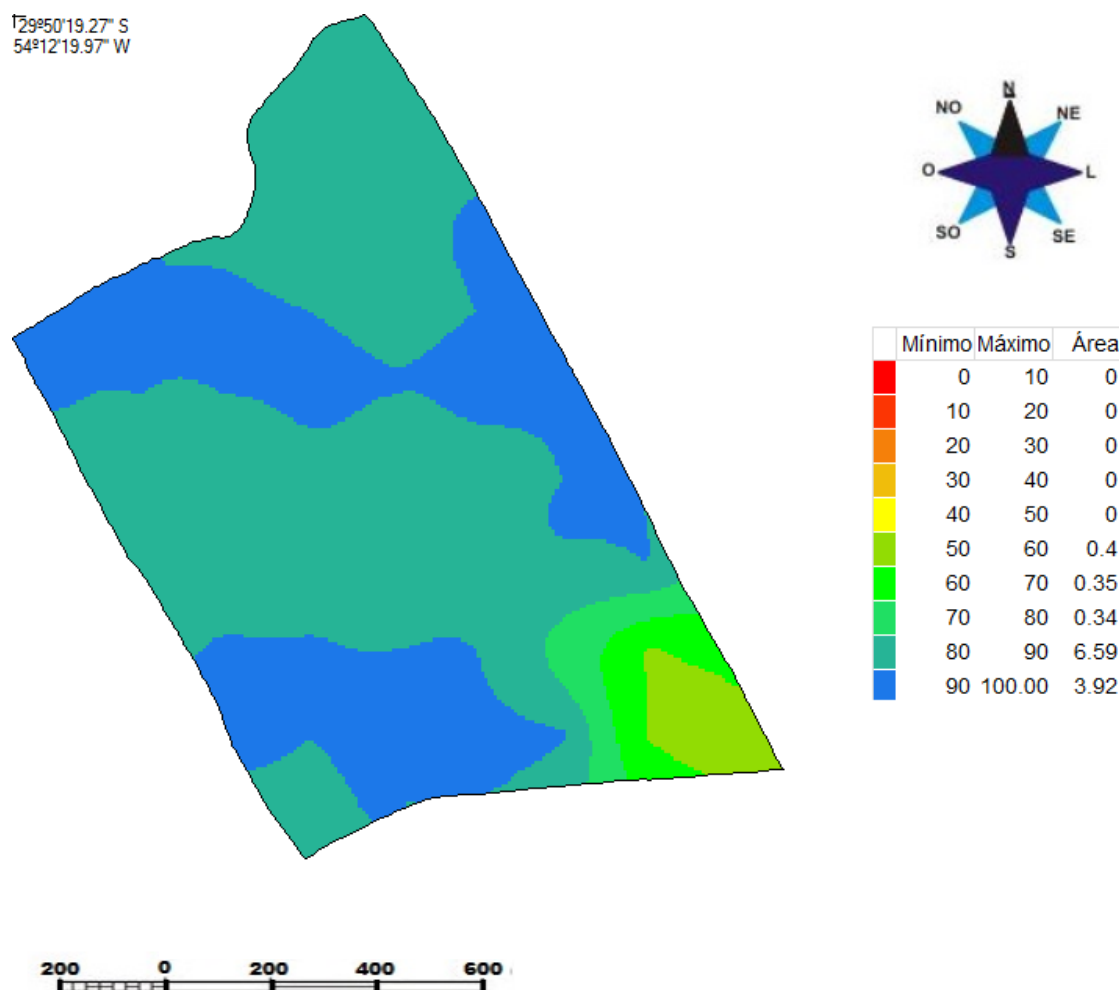


FIGURA 12. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Vale ressaltar que 34,4% (3,92 ha) da área, produziu sementes com germinação entre 90 e 100%, por outro lado, em 3,6% da área, as sementes produzidas atingiram entre 50 e 60%.

Assim como no Campo 1, os dados de emergência de plântulas apresentaram valores menores do que no teste de germinação. A maior parte das sementes produzidas apresentou emergência de plântulas entre 40 e 70%, sendo que a média foi de 50% (Figura 13). Os dados de emergência de

plântulas apresentaram alta variabilidade espacial, expresso pelo coeficiente de variação de 29,8% (Tabela 4).

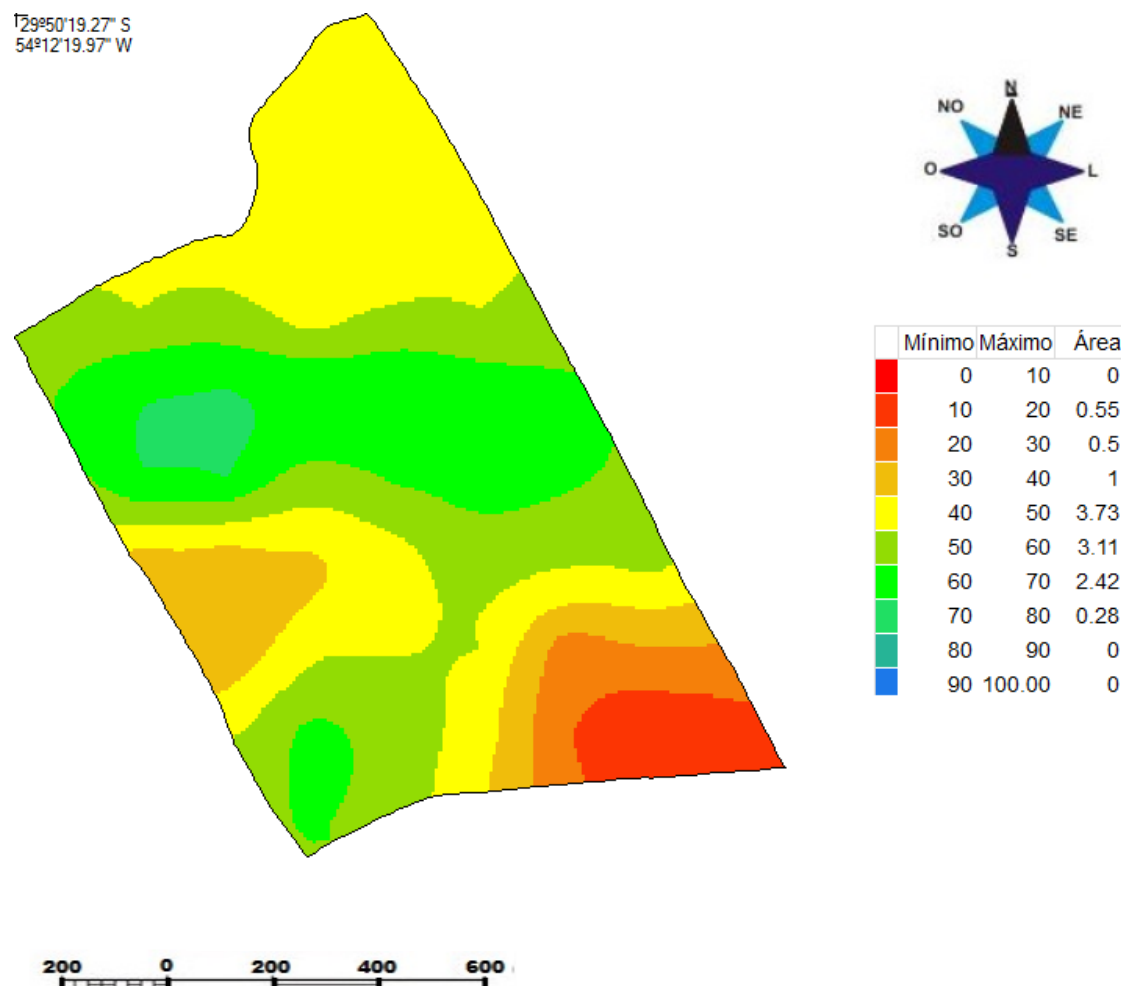


FIGURA 13. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Os dados também ficaram abaixo do potencial máximo do lote estimado pelo teste de germinação, porém, os menores percentuais de emergência de plântulas coincidiram com a zona de menor germinação, cujas sementes estavam abaixo do padrão mínimo de germinação estabelecido para a comercialização de sementes de soja (BRASIL, 2005).

Constatou-se que em 60% da área (6,84 ha) a emergência de plântulas esteve compreendida entre 40 e 60%, evidenciando, de certa maneira, a baixa qualidade fisiológica das sementes produzidas no campo 2.

A grande parte do campo apresentou valores entre 70 e 80%, para a primeira contagem da germinação, sendo o valor médio de 76% (Figura 14). Os valores máximo e mínimo foram de 55 e 88%, respectivamente, sendo que a região onde ocorreram os menores percentuais da primeira contagem coincidiu com os menores valores de germinação e emergência de plântulas (Tabela 4).

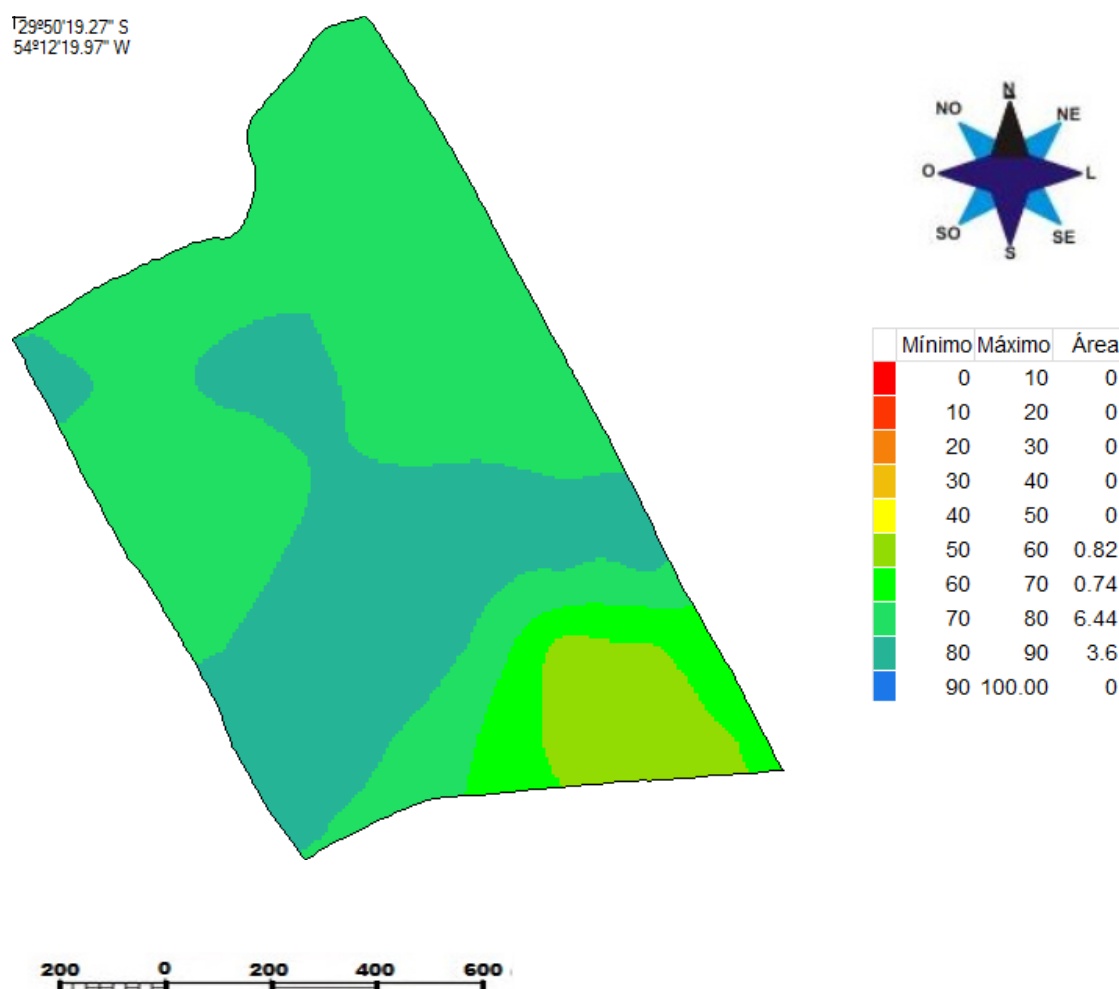


FIGURA 14. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

O mapa da condutividade elétrica massal (Figura 15) apresentou uma estratificação do campo em sete classes, sendo que a maior parte da área produziu sementes com valores de condutividade elétrica massal entre 60 e 80 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ e valores máximo de 118 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ e mínimo de 55 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tabela 4). A mesma subárea do campo onde se obteve os menores valores de germinação, emergência de plântulas e da primeira contagem apresentou os maiores valores de condutividade elétrica massal, sendo esses superiores a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

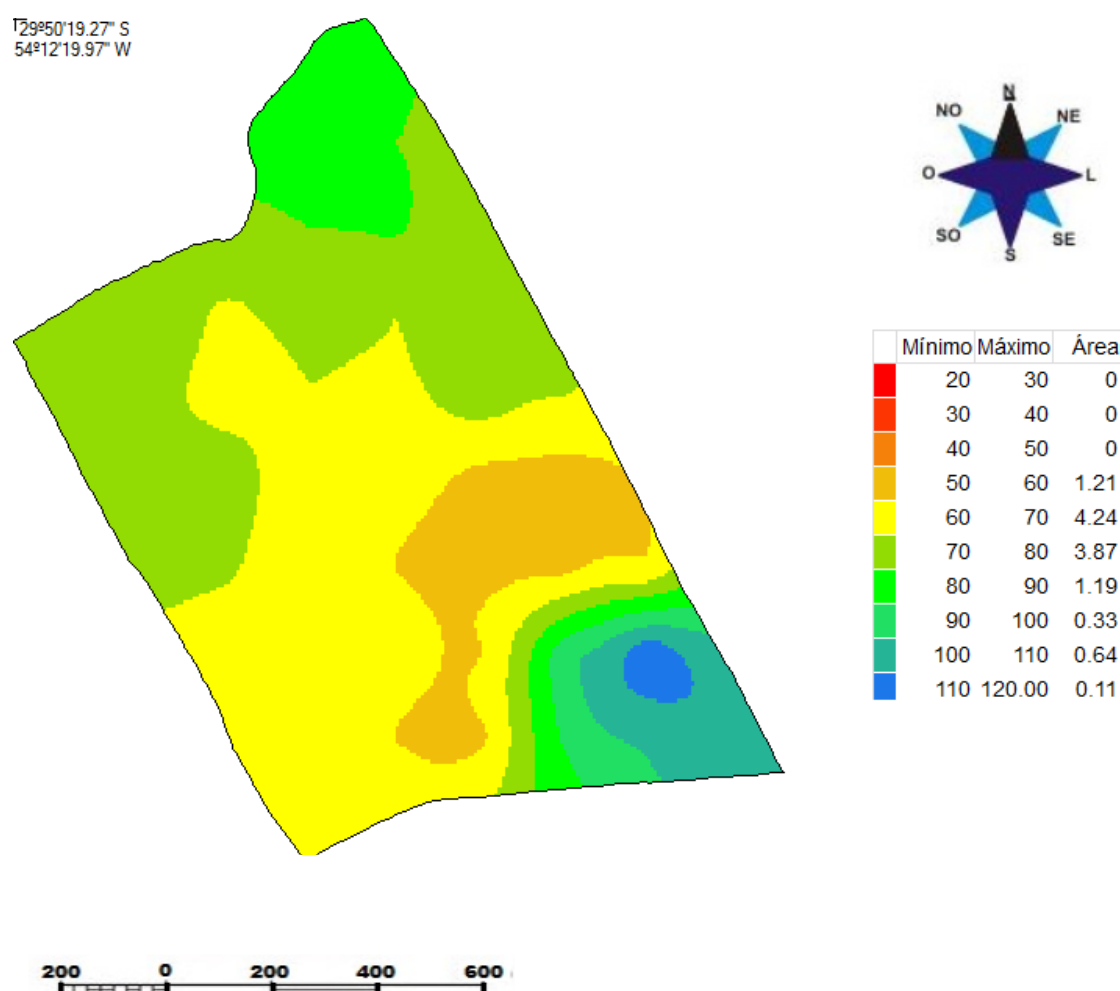


FIGURA 15. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 2, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A viabilidade das sementes produzidas no campo 2, estimada pela condutividade elétrica individual, apresentou valores baixos, indicando baixa qualidade fisiológica das sementes (Figura 16). A média foi de 20%, sendo que o maior valor determinado atingiu 38% e o menor, 2% (Tabela 4).

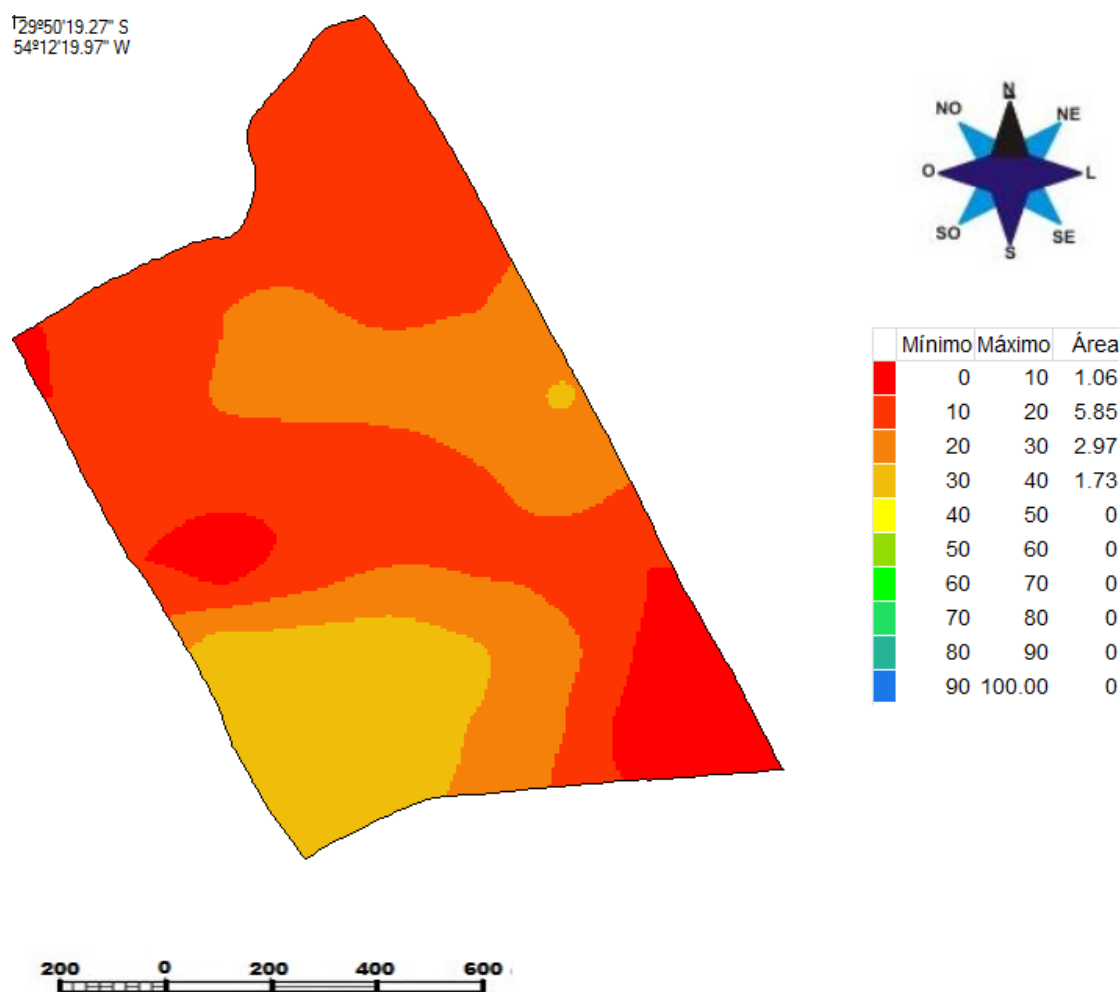


FIGURA 16. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 2 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Esses valores ficaram acentuadamente abaixo dos valores mínimo, médio e máximo estabelecidos no teste de germinação de 58, 86 e 92%, respectivamente (Tabela 4). Observou-se nas sementes desse campo

apreciável número de imperfeições no tegumento, que podem ter potencializado a limitação do teste de condutividade elétrica.

Pelos resultados obtidos, pode-se considerar que, mesmo as sementes apresentando danos em suas membranas celulares, e, portanto, havendo lixiviação de maior quantidade de solutos, as mesmas ainda apresentam condições de germinar e formar uma plântula normal. A redução da integridade do sistema de membranas representa um dos estádios iniciais do processo de deterioração, não indicando, necessariamente, que a semente formará uma plântula anormal ou que está morta (DELOUCHE e BASKIN, 1973). Portanto, a utilização do teste da condutividade elétrica para estimativa da viabilidade de sementes pode ser limitada em lotes com acentuado número de sementes danificadas.

4.3. Campo 3

O campo 3 apresentou produtividade média de $2.398 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de sementes de soja, cultivar NA 5909 RG, e produtividade máxima e mínima estimada em 3.204 e $1.314 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 5). O coeficiente de variação dos dados de produtividade foi de 15,1%, indicando uma variabilidade espacial média (WARRICK e NIELSEN, 1980).

A produtividade variou entre 2.500 e $3.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 35% da área (2,03 ha) e atingiu de 2.000 a $2.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 53% (3,09 ha) da área do campo 3.

TABELA 5. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

	P (kg·ha⁻¹)	G (%)	E (%)	PC (%)	CEM (μS·cm⁻¹ g⁻¹)	CEI (%)
Máximo	3204	98	96	96	49	98
Médio	2398	95	86	87	44	93
Mínimo	1314	93	80	50	34	87
CV%	15,1	1,1	4,9	7,4	8,5	2,8

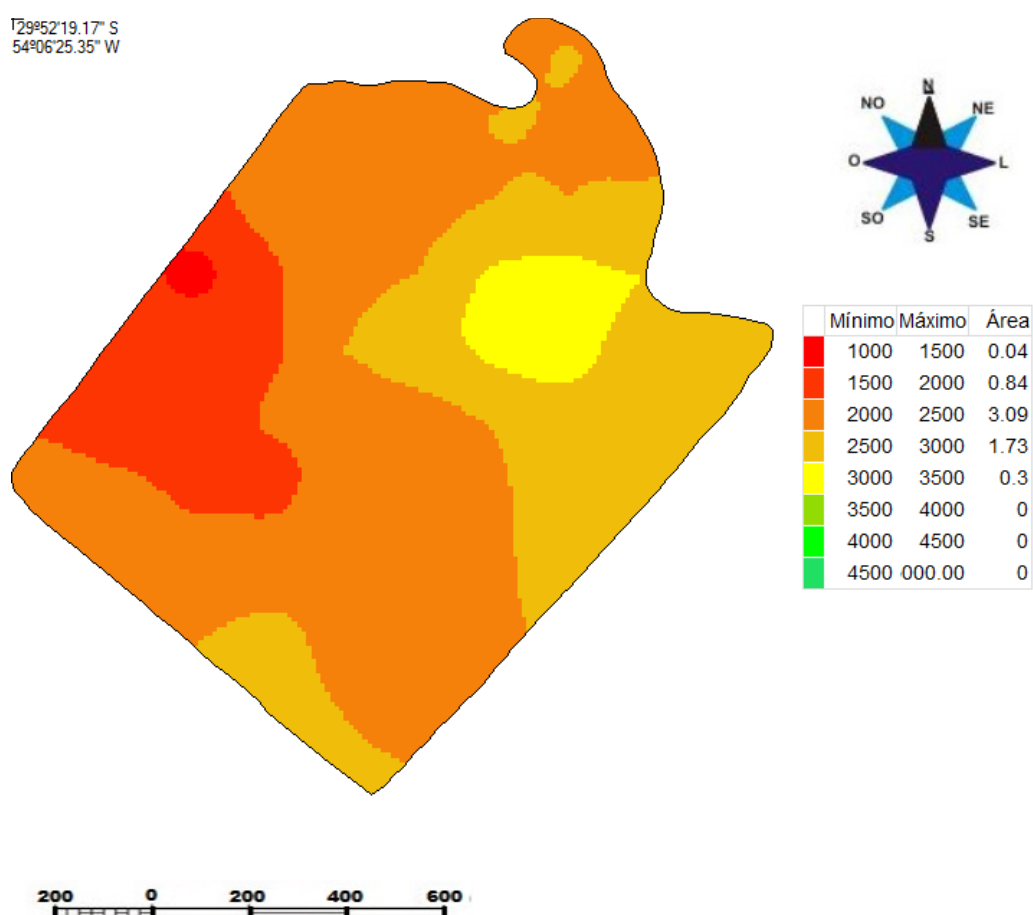


FIGURA 17. Mapa da produtividade (kg·ha⁻¹) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

As sementes produzidas no campo 3 apresentaram alta germinação, sendo que em todos os pontos a germinação foi superior a 90% (Figura 18). A germinação média foi de 95% e a máxima e mínima alcançaram 98 e 95%, respectivamente, sendo a variabilidade espacial baixa, com coeficiente de variação igual a 1,1% (Figura 5).

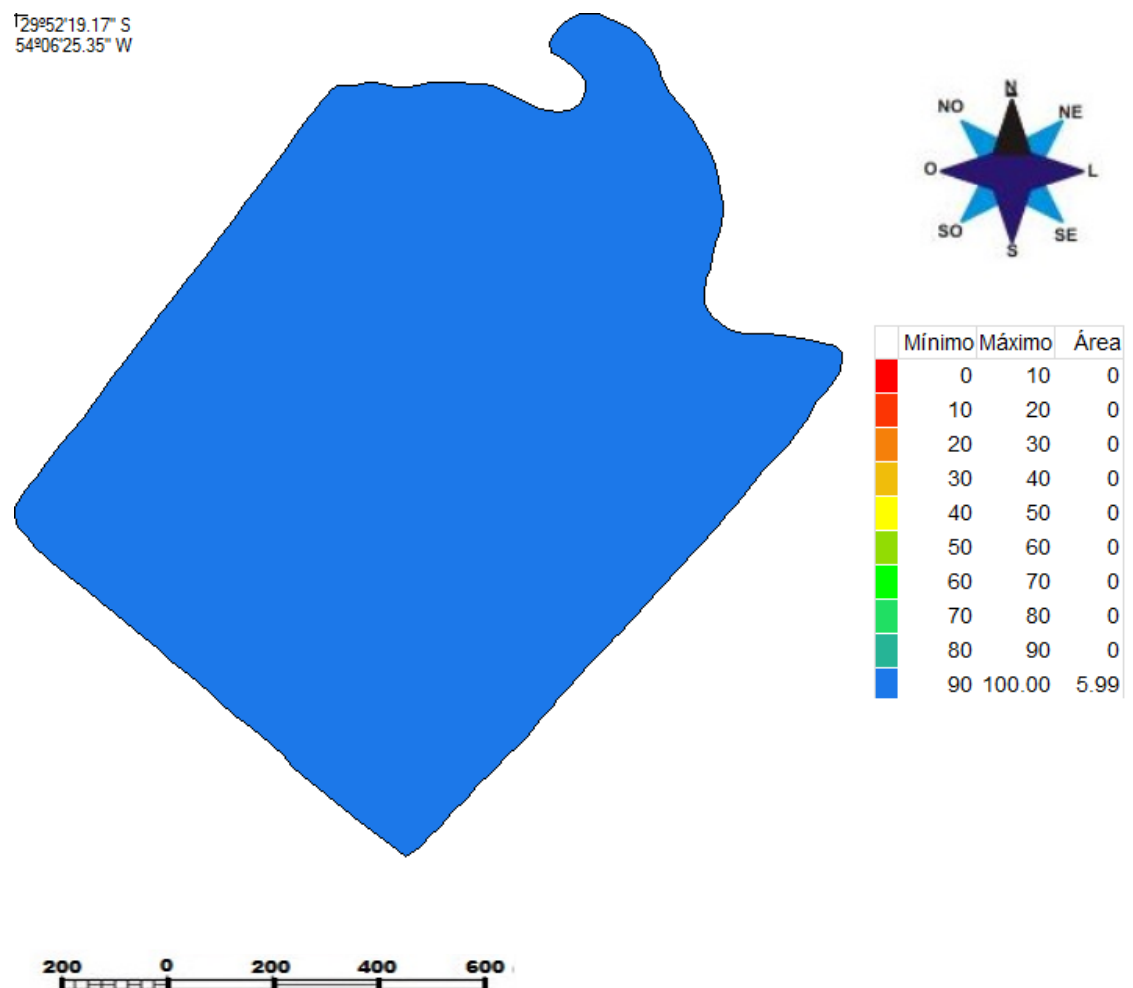


FIGURA 18. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A alta qualidade das sementes também foi evidenciada no teste de emergência de plântulas, cuja média foi de 86% e a máxima e mínima de 96 % e 80%, respectivamente (Tabela 5). A maior parte da área (4,86ha), correspondente a 84% do campo, alcançou emergência de plântulas entre 80 e 90% (Figura 19).

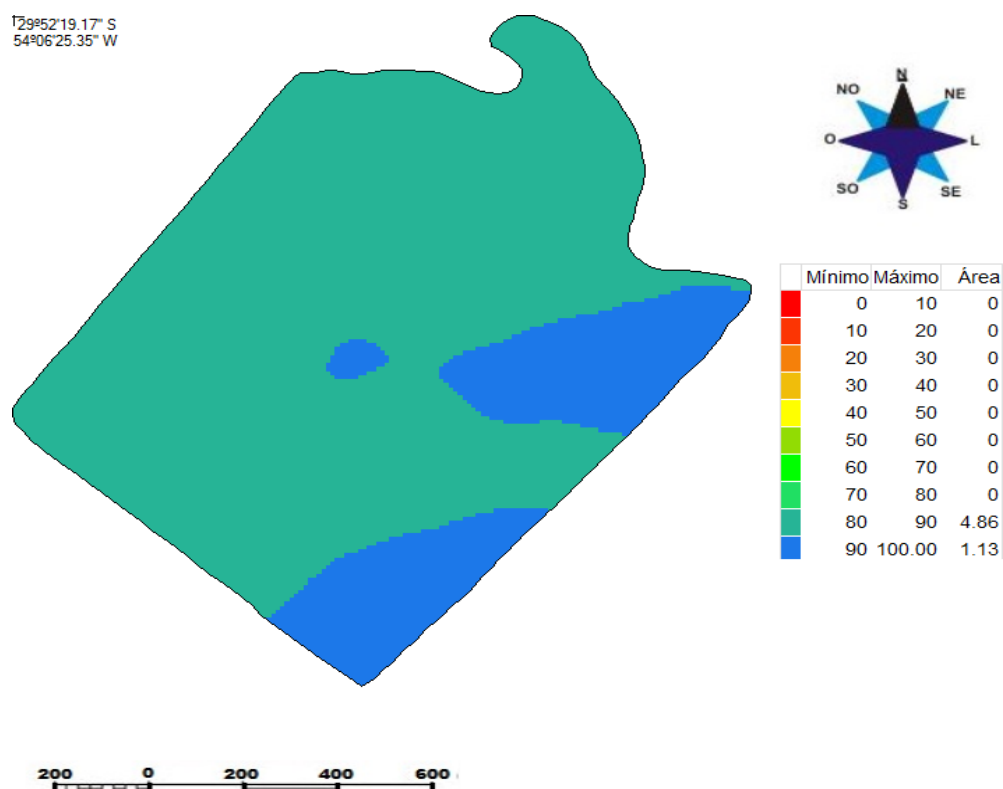


FIGURA 19. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

No teste da primeira contagem da germinação, houve distinção do campo em cinco classes distintas, porém a maior parte da área (74%) produziu sementes entre 80 e 90% (Figura 20). Na subárea de 1,56 ha (26%), os resultados ficaram acima de 90%. A média do campo foi de 87%, sendo 50 e

96% os valores mínimo e máximo, respectivamente (Tabela 5). A variabilidade espacial foi maior do que a apresentada no teste de germinação, porém ainda classificada como baixa, com um coeficiente de variação de 7,4%.

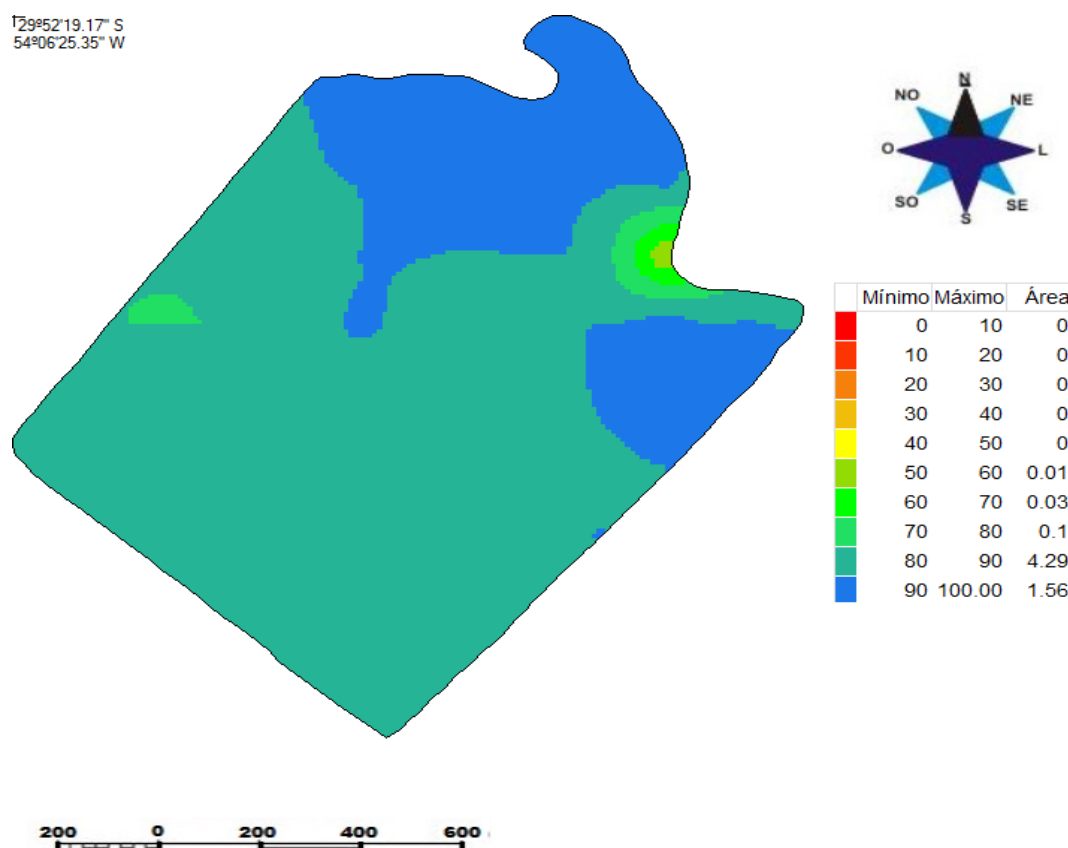


FIGURA 20. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A condutividade elétrica massal apresentou baixa variabilidade espacial, com um coeficiente de variação de 8,5% (Tabela 5). Os valores médio, máximo e mínimo para esse campo foram 44, 34 e 49 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (Figura 21).

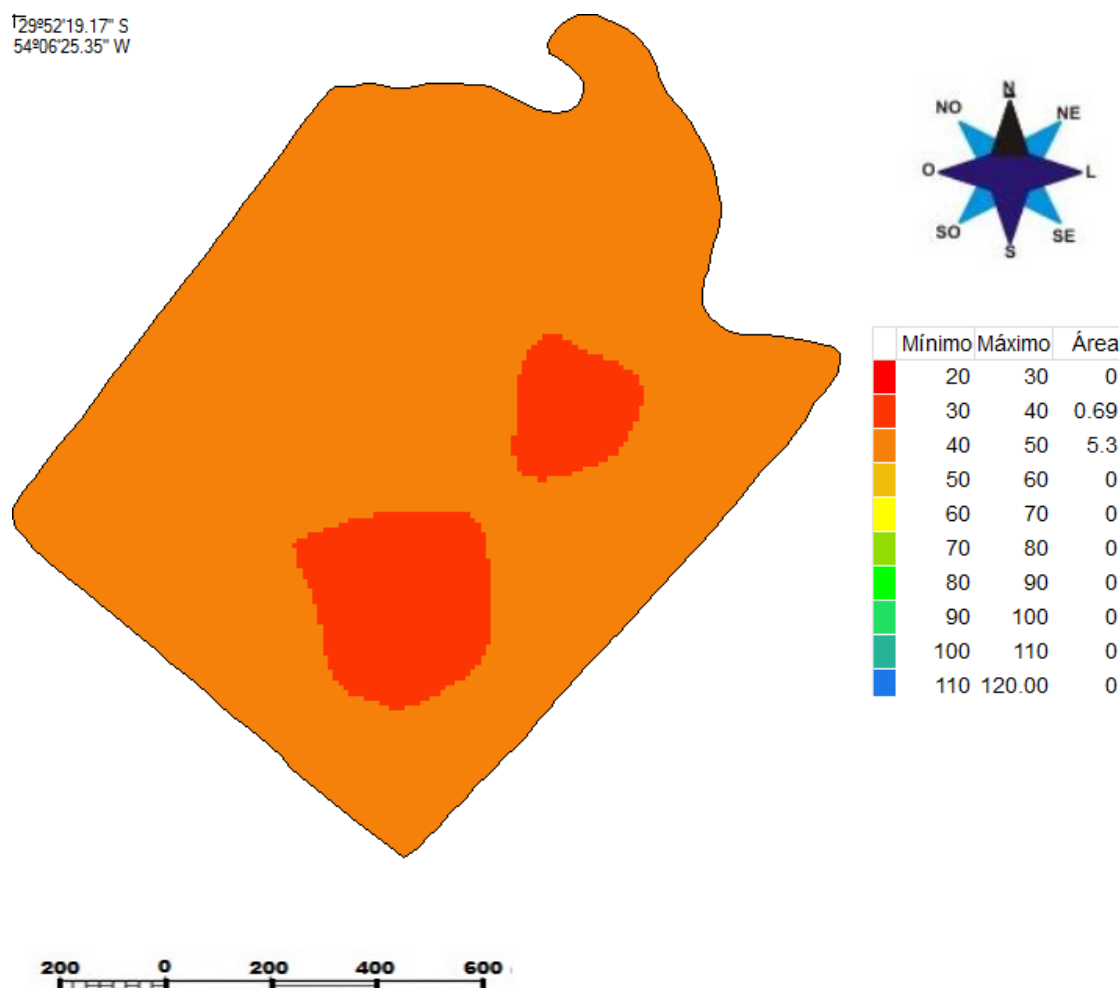


FIGURA 21. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 3, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A condutividade elétrica individual mostrou-se eficiente para estimar a viabilidade das sementes para o campo 3. As sementes produzidas concentraram-se na faixa de viabilidade entre 90 e 100%, sendo que apenas 0.59 ha, produziram sementes com viabilidade de 80 a 90% (Figura 22). O valor médio de viabilidade foi de 93%, sendo 87 e 98% os valores mínimo e máximo, respectivamente, além de um coeficiente de variação de 2,8% (Tabela

5). Esse fato evidencia a eficiência do teste de condutividade elétrica individual para estimar a viabilidade de sementes de alta qualidade fisiológica, no caso em que os danos nas estruturas de membranas celulares não são acentuados.

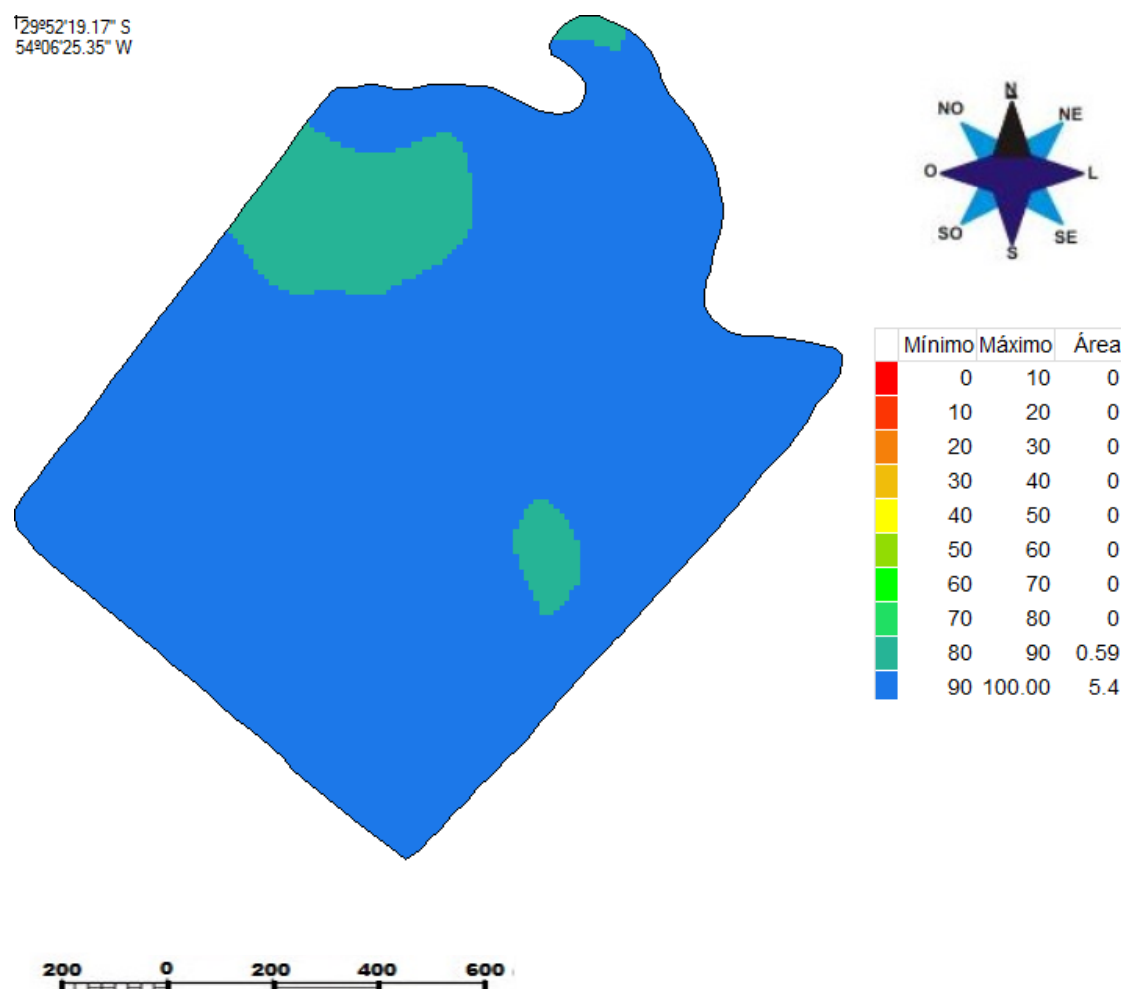


FIGURA 22. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 3, estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.

4.4. Campo 4

A produtividade média de sementes de soja, cultivar A4725 RG, produzidas no campo 4, foi $1704 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a mínima, $1110 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e máxima, $2766 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 6). A baixa produtividade média foi causada principalmente pelo déficit hídrico e pela semeadura fora da época recomendada para altas produtividades de um material considerado superprecoce para a região, pois foi realizada no mês de janeiro.

TABELA 6. Valores máximos, médios, mínimos e Coeficiente de Variação (CV%) de Produtividade (P), germinação (G), emergência de plântulas (E), primeira contagem da germinação (PC), condutividade elétrica massal (CEM) e condutividade elétrica individual – viabilidade (CEI) de sementes de soja produzidas no campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

	P (kg·ha⁻¹)	G (%)	E (%)	PC (%)	CEM (μS·cm⁻¹ g⁻¹)	CEI (%)
Máximo	2766	93	85	92	64	91
Médio	1704	87	63	82	57	76
Mínimo	1110	80	48	68	44	64
CV%	20,6	4,5	13,8	8,1	9,1	11,3

O mapa da produtividade do campo 4 permite estratificar o campo em quatro regiões, porém somente 0,13 ha obteve produtividade acima dos $2.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 23). A maior parte da área, 7,12 ha, o que corresponde à 58% da área, apresentou produtividade entre 1.500 à $2.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

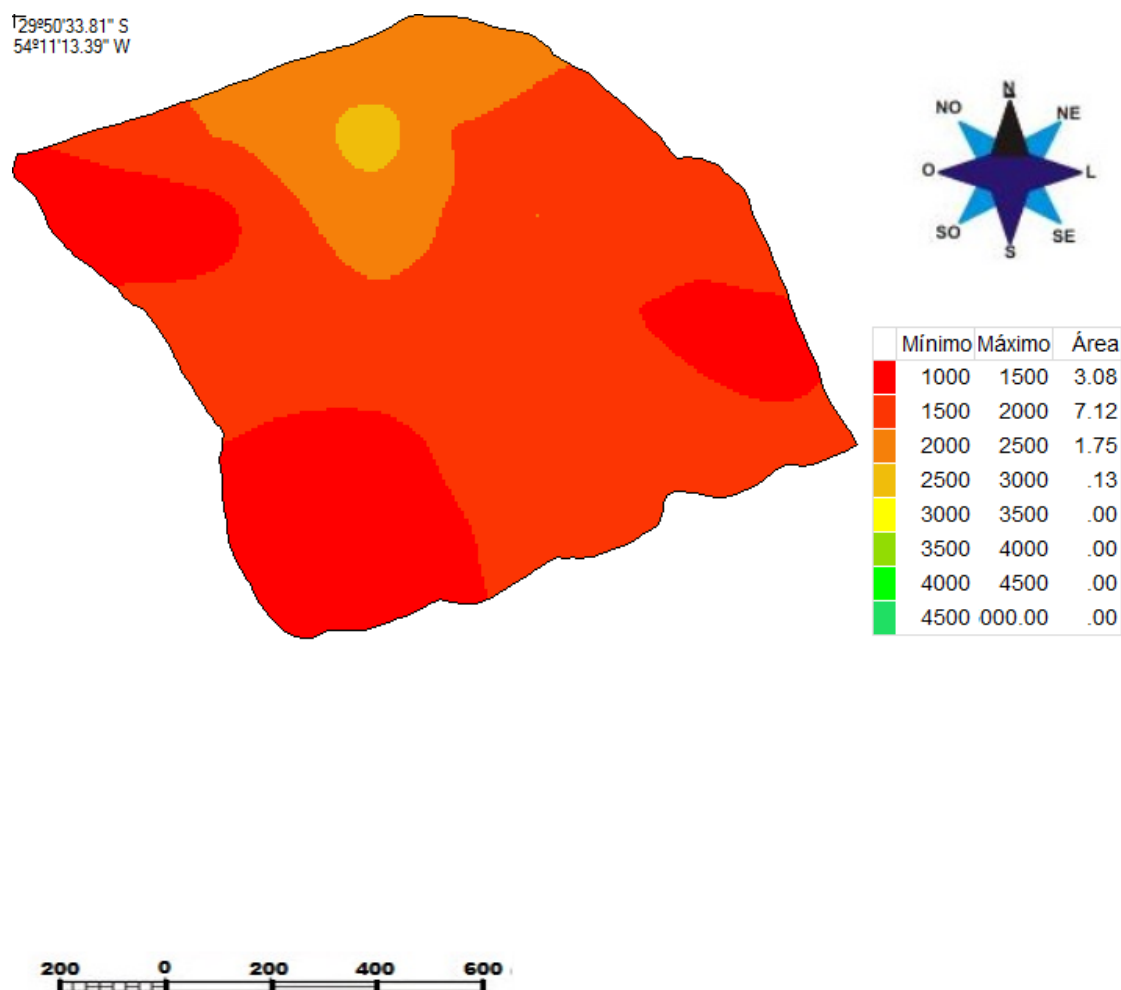


FIGURA 23. Mapa da produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A empresa obtentora da cultivar A4725 RG recomenda a semeadura para o período de 20 de outubro até 20 de dezembro. Segundo a empresa que inscreveu o campo de produção de sementes, a semeadura foi realizada fora da época recomendada porque havia a necessidade de aumentar o volume produzido de sementes da referida cultivar, e já tinham sido perdido alguns campos, por problema de emergência, causada pela baixa disponibilidade hídrica do solo. Os dados apresentaram variabilidade espacial média, com coeficiente de variação de 20,6%.

Mesmo com a baixa produtividade, as sementes do campo 4 foram de elevada germinação, sendo que a média do campo foi de 87%, sendo que 4,22 ha (33%) produziram sementes com germinação entre 90 e 100% (Figura 24). A germinação mínima atingiu 80% e a máxima, 93% e ainda obteve-se baixa variabilidade espacial, com um coeficiente de variação de 4,5% (Tabela 6).

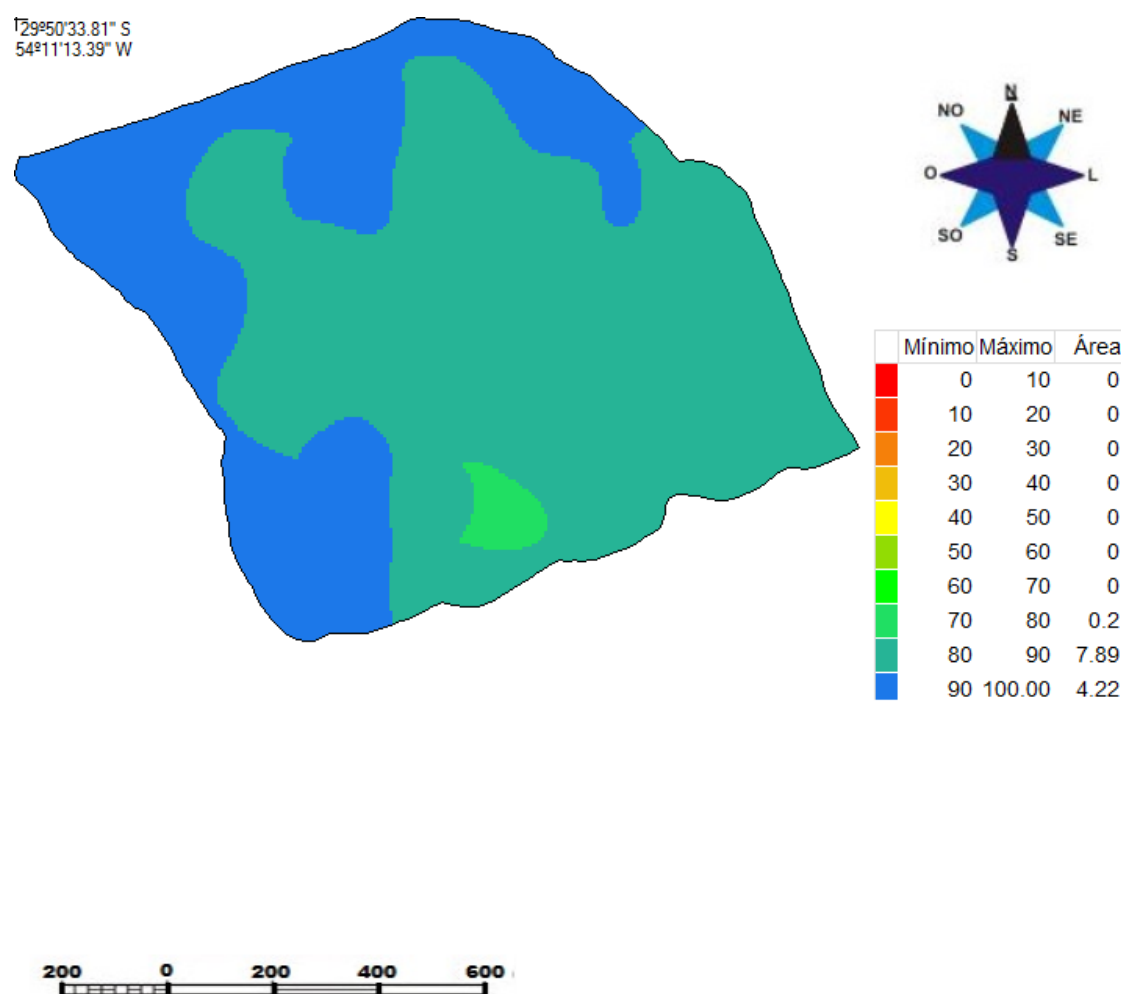


FIGURA 24. Mapa da germinação (%) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A emergência de plântulas permitiu estratificar as sementes produzidas no campo 4 em cinco grupos, sendo que a maior parte da área (70%) produziu

sementes com emergência de plântulas entre 50 e 70% (Figura 25). A emergência mínima foi de 48% e a máxima, de 85%. O coeficiente de variação de 13,8% demonstrou uma variabilidade espacial média (Tabela 6)

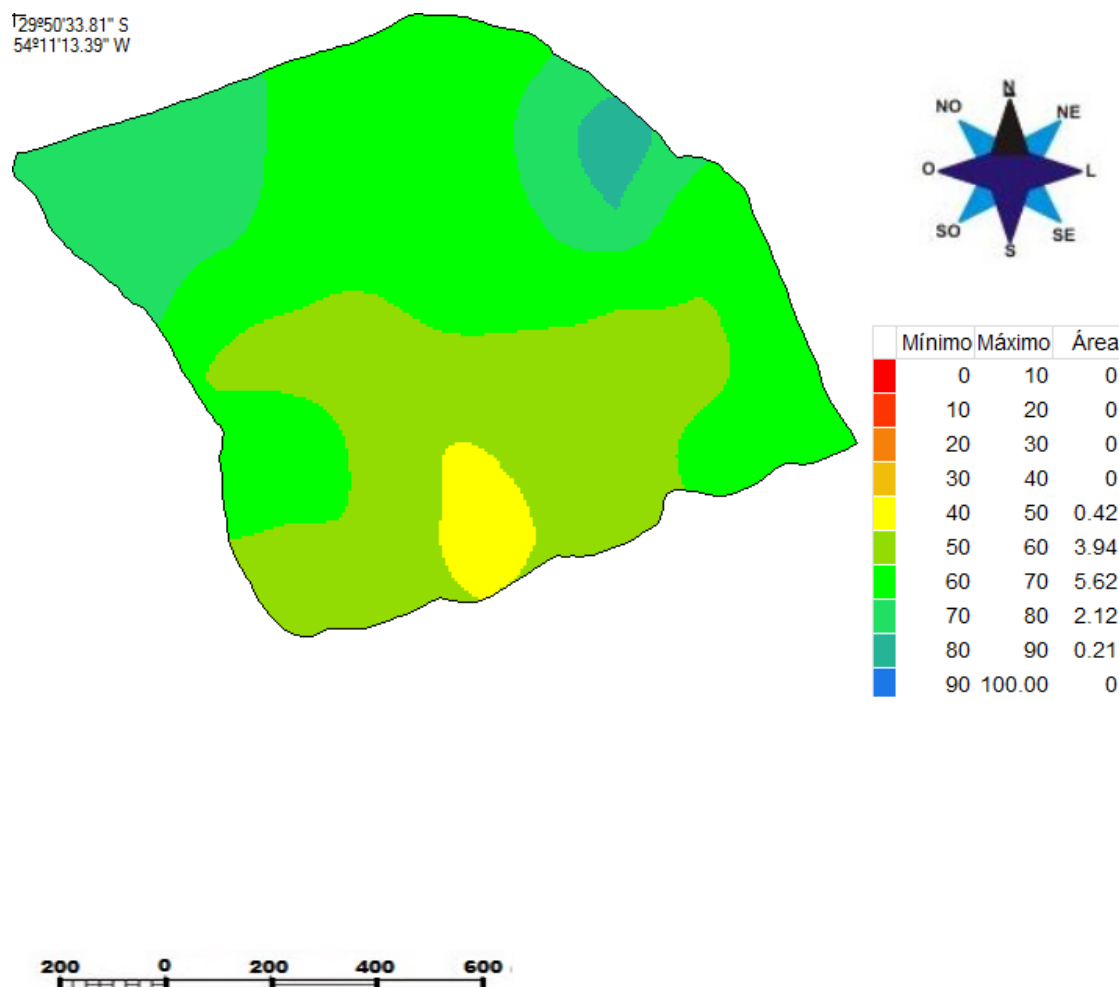


FIGURA 25. Mapa da emergência de plântulas (%) obtidas de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Na primeira contagem da germinação, também foi observada alta qualidade fisiológica das sementes, sendo que os valores ficaram entre 68 e 92% (Tabela 6). O valor médio foi de 82% e o coeficiente de variação alcançou

8,1%, demonstrando a baixa variabilidade espacial. A maior parte da área (61%) produziu sementes com valores de primeira contagem da germinação entre 80 e 90% (Figura 26).

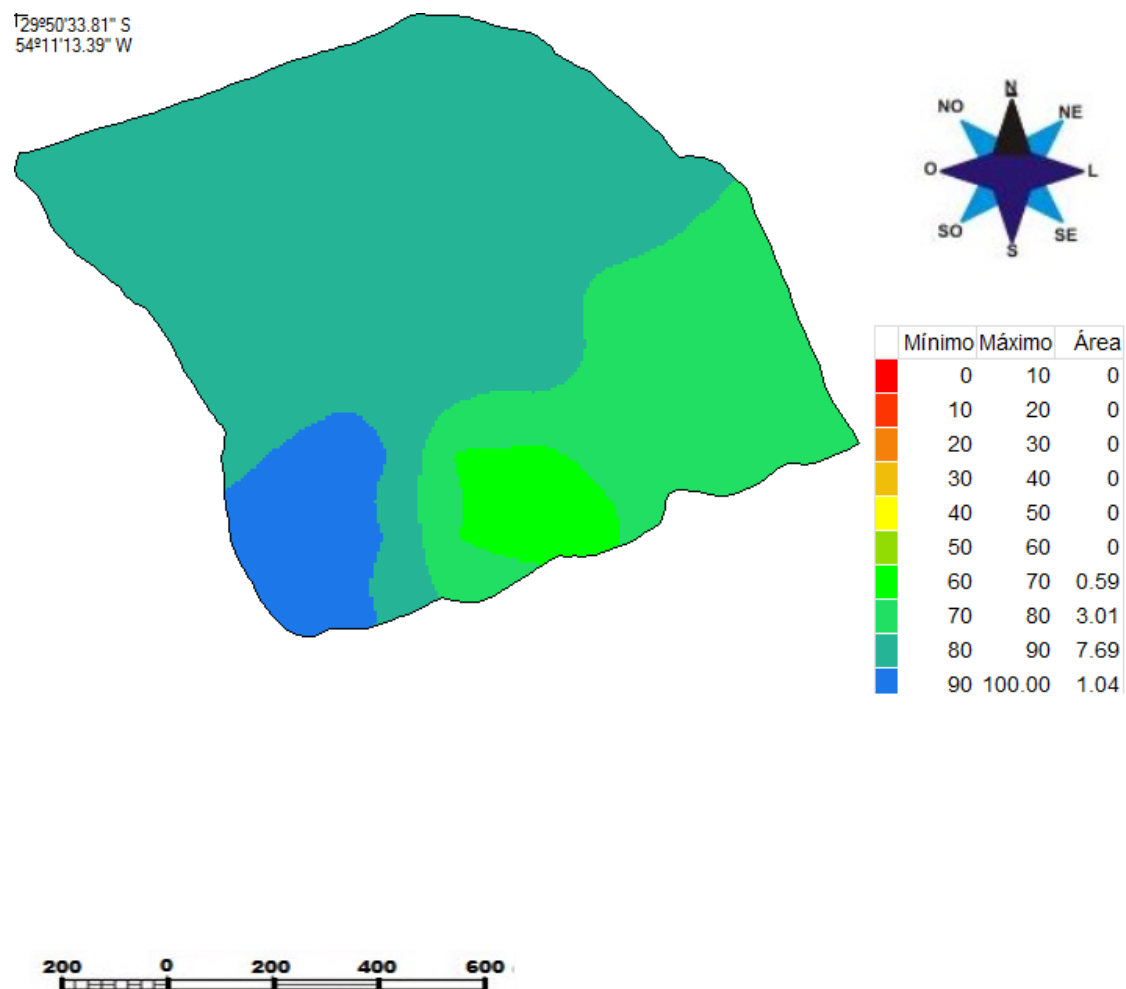


FIGURA 26. Mapa da primeira contagem da germinação (%) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A condutividade elétrica massal apresentou baixa variabilidade espacial, com coeficiente de variação de 9,1% (Tabela 6). Os valores médio, mínimo e máximo para esse campo foram 57, 44 e 64 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. Os resultados do teste

permitiram estratificar as sementes desse campo em três grupos, apresentando a maior parte (61%) condutividade elétrica de 50 a 60 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (Figura 27).

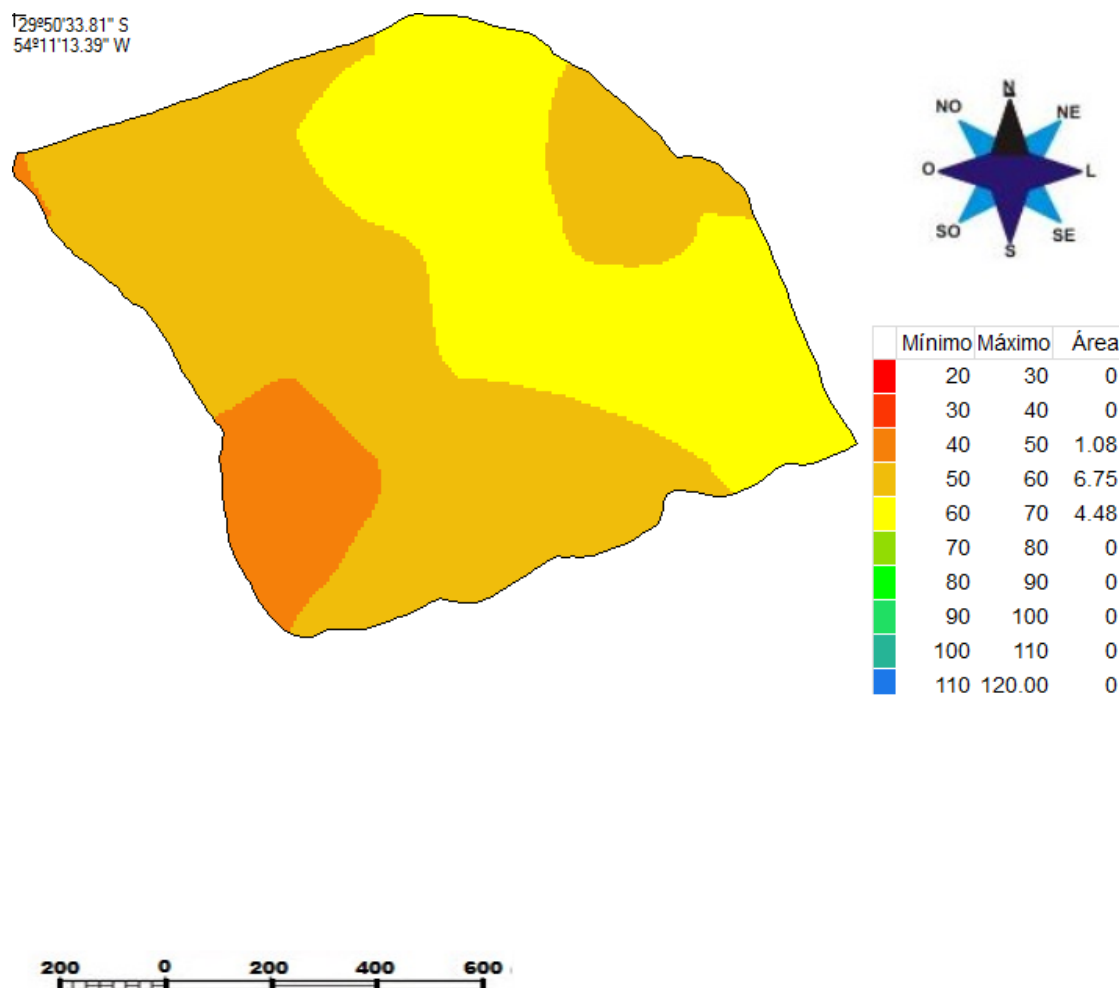


FIGURA 27. Mapa da condutividade elétrica massal ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja do Campo 4, na safra 2011/12. UFPel, 2013.

Visualmente, o mapa da condutividade elétrica individual – viabilidade (Figura 28) ficou semelhante ao mapa do teste de germinação (Figura 24). A viabilidade média das sementes foi estimada em 76% e os valores ficaram entre 64 e 91%, com um coeficiente de variação de 11,3% (Tabela 6). As

sementes foram estratificadas em quatro grupos, porém o grupo de maior área foi das sementes com viabilidade entre 70 e 80%.

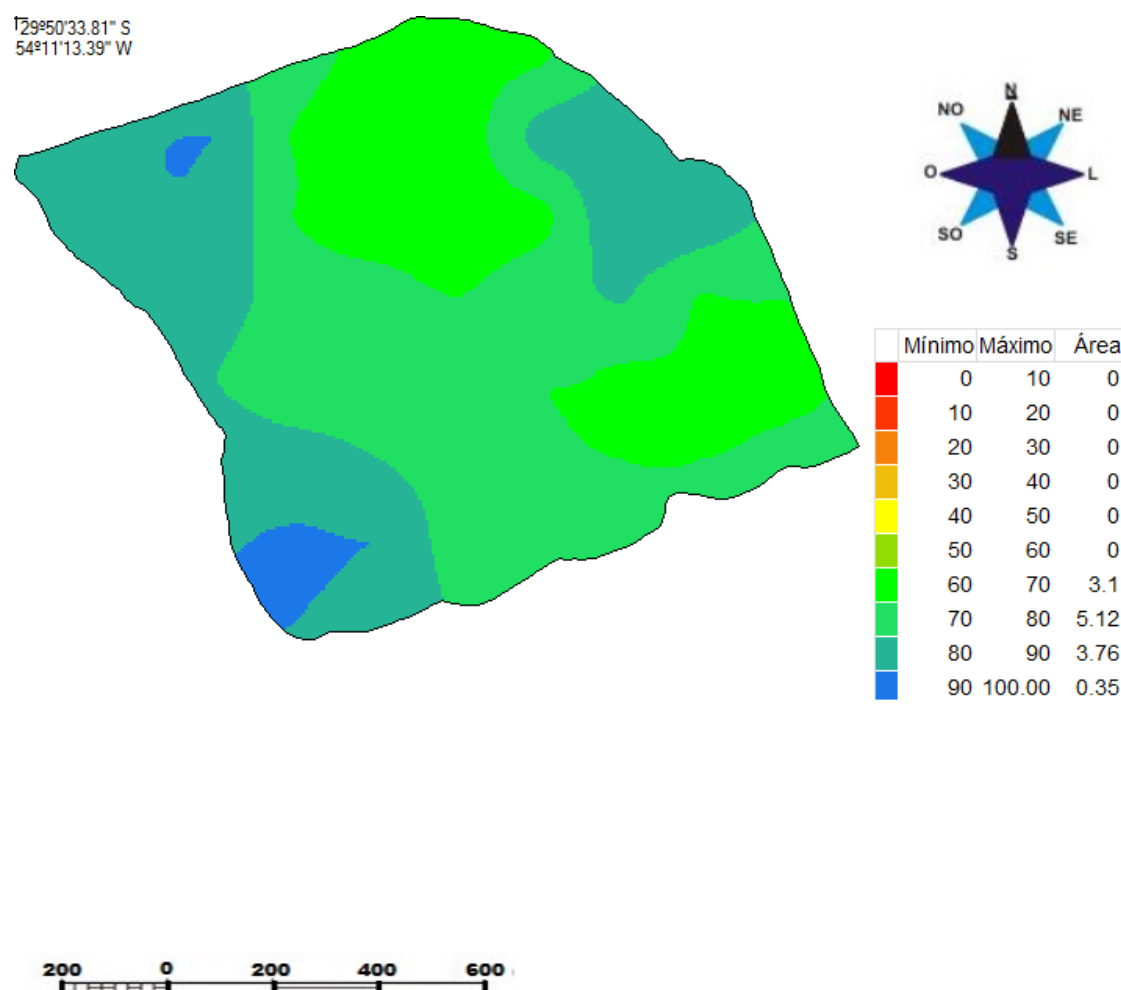


FIGURA 28. Mapa da viabilidade (%) de sementes de soja do Campo 4 estimada pelo teste da condutividade elétrica individual na safra 2011/12. UFPel, 2013.

A variabilidade espacial da qualidade fisiológica das sementes apresentou diferentes intensidades nos quatro campos, o que demonstra a influência da cultivar, da gleba, das práticas de manejo e das condições de estabelecimento e desenvolvimento da cultura da soja. No processo de formação, a semente de soja depende de inúmeros fatores relacionados ao clima, solo e até mesmo à própria planta. Estudos demonstram que esses fatores não exercem influência uniforme, submetendo as plantas a condições distintas durante o seu ciclo, mesmo dentro do mesmo campo (MATTIONI et al., 2011).

No sistema de semeadura direta, a adoção de certas práticas de manejo, como a aplicação superficial uniforme do calcário, ausência de revolvimento do solo, adubações em superfície, a lanço ou nas linhas de semeadura, bem como o acúmulo superficial dos resíduos das culturas usadas em sucessão e/ou rotação ao longo dos anos, alteram a variabilidade dos atributos químicos do solo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Estudando a fertilidade de um solo manejado homogeneamente e utilizando o coeficiente de variação como parâmetro de dispersão de valores, Montezano et al. (2006) observaram variabilidade alta para os teores de fósforo, cobre e zinco; média para matéria orgânica, teores de enxofre, cálcio e magnésio, acidez potencial, soma de bases, CTC a pH 7,0, saturação por bases, teores de boro, ferro e manganês; e baixa para acidez ativa e teores de potássio. Esses resultados corroboram com Dalchiavon et al. (2012), que constataram também que as maiores variabilidades dos atributos químicos analisados pelo coeficiente de variação ocorreram na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade.

A ocorrência de variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja já foi evidenciada em campos de produção. Mondo et al. (2012) observaram baixa variabilidade para a germinação e média para os testes de primeira contagem da germinação e envelhecimento acelerado, e, ainda, influência do teor de matéria orgânica, cobre e manganês do solo na qualidade fisiológica das sementes. Mattioni et al. (2012) constataram o efeito da compactação do solo no tamanho de sementes, sendo que em zonas com maiores valores de resistência à penetração do solo, foi produzida maior proporção de sementes menores.

A análise geoestatística mostrou que todas as variáveis apresentaram dependência espacial. Os semivariogramas foram definidos conforme o melhor ajuste dos dados estimados com os originais, técnica chamada de validação cruzada.

Para o campo 1, as variáveis condutividade elétrica individual, condutividade elétrica massal, primeira contagem da germinação e produtividade apresentaram melhor ajuste com o modelo esférico (Tabela 7). Para a variável emergência de plântulas, o modelo de melhor ajuste foi o exponencial e para a variável germinação, o gaussiano. As variáveis emergência de plântulas e germinação obtiveram os maiores alcances e o menor alcance foi obtido pela variável produtividade, porém, nenhuma das variáveis obteve alcance menor do que a distância entre os pontos de amostragem.

Segundo Vieira (2000), o alcance indica o limite da dependência espacial da variável, ou seja, determinações realizadas em distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os empregados na amostragem.

TABELA 7. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2) ajustados para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P), no campo 1. UFPel, 2013.

Variável	Modelo	a	R^2
CEI	Esférico	100	0,9902
CEM	Esférico	100	0,9971
E	Exponencial	140	0,9951
G	Gaussiano	140	1,0000
PC	Esférico	100	0,9997
P	Esférico	80	0,9977

Os semivariogramas ajustados para as variáveis analisadas no campo 2 foram predominantemente exponencial, com exceção das variáveis condutividade elétrica massal e produtividade, que foram melhor estimadas pelo modelo esférico (Tabela 8). O menor alcance foi das variáveis condutividade elétrica individual, emergência de plântulas e produtividade, todos estimados em 150 m, sendo esse maior do que a distância entre os pontos amostrais.

TABELA 8. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2) dos ajustados para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P), no campo 2. UFPel, 2013.

Variável	Modelo	a	R^2
CEI	Exponencial	150	0,9559
CEM	Esférico	240	0,9877
E	Exponencial	150	0,9875
G	Exponencial	240	0,9989
PC	Exponencial	180	0,9990
P	Esférico	150	0,9969

Os semivariogramas ajustados para as variáveis analisadas no campo 3 obtiveram diferentes ajustes de modelos, sendo gaussiano para condutividade elétrica massal, emergência de plântulas e primeira contagem da germinação; exponencial para condutividade elétrica individual e produtividade; e o modelo esférico para a variável germinação (Tabela 9). Todos os alcances foram maiores do que a distância mínima entre os pontos amostrados, sendo que as variáveis condutividade elétrica individual e condutividade elétrica massal obtiveram os menores alcances, estimados em 80 m.

TABELA 9. Modelos, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2) ajustados para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P), no campo 3. UFPel, 2013.

Variável	Modelo	a	R^2
CEI	Exponencial	80	1,00
CEM	Gaussiano	80	0,9970
E	Gaussiano	140	1,0000
G	Esférico	140	0,9999
PC	Gaussiano	180	0,9972
P	Exponencial	140	0,9976

Para o campo 4, os modelos de melhor ajuste foram o gaussiano, para as variáveis condutividade elétrica individual, emergência de plântulas e germinação e o exponencial para as variáveis condutividade elétrica massal, primeira contagem da germinação e produtividade (Tabela 10). Os menores alcances foram obtidos pelas variáveis condutividade elétrica individual e produtividade, sendo esse de 180 m, porém acima da menor distância entre os pontos amostrados.

TABELA 10. Modelo, alcance (a) e coeficiente de determinação (R^2), ajustados, para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI), condutividade elétrica massal (CEM), emergência de plântulas (E), germinação (G), primeira contagem da germinação (PC) e produtividade (P) no campo 4. UFPel, 2013.

Variável	Modelo	A	R^2
CEI	Gaussiano	180	0,9982
CEM	Exponencial	210	0,9992
E	Gaussiano	210	0,9997
G	Gaussiano	210	1,0000
PC	Exponencial	210	0,9987
P	Exponencial	180	0,9949

(1) Efeito pepita, (2) Patamar, (3) Alcance.

Os testes de condutividade elétrica massal e individual mostraram-se precisos na estimativa da qualidade fisiológica das sementes para os campos, com exceção do campo 3. Para o campo 1, foi observada correlação positiva e significativa entre a condutividade elétrica individual e a germinação e a emergência de plântulas (Tabela 11). Para a condutividade elétrica massal, também foi observada correlação significativa com a germinação e a emergência de plântulas das sementes, porém negativa. Essas correlações também foram observadas para os campos 2 e 4, com exceção para as variáveis condutividade elétrica individual e emergência de plântulas no campo

2 e condutividade elétrica massal e emergência de plântulas no campo 4. Para esses campos, ainda, os dois tipos de condutividade elétrica apresentaram correlação significativa com o teste da primeira contagem da germinação.

No campo 3, foi observada apenas correlação significativa entre a condutividade elétrica massal e a germinação. O campo, porém produziu em toda a área, sementes com percentuais de germinação entre 90 e 100% e a viabilidade, estimada pelo teste da condutividade elétrica individual, em 90% da área, também foi entre essa faixa, o equivalente a 5.4 ha.

Uma análise geral dos resultados alcançados permite afirmar que existe variabilidade espacial de produtividade e de qualidade fisiológica de sementes dentro e entre campos de produção, sendo mais acentuada no vigor do que na germinação, visto que o vigor apresenta maior sensibilidade. Uma consequência disso é a heterogeneidade da qualidade fisiológica de sementes de soja dentro de um lote, visto que as sementes que o compõem, provém das mais diversas regiões do campo e as vezes até mesmo de campos diferentes. Com isso, a metodologia de amostragem pode se tornar ineficiente, e comprometer a representatividade da amostra média, em lotes de grande volume e consequentemente todos os resultados analíticos gerados a partir dessa amostra. Uma forma de minimizar esse efeito pode ser a redução do tamanho máximo dos lotes, que com auxílio do conhecimento da variabilidade espacial da qualidade fisiológica do campo, permite a formação de lotes mais homogêneos.

TABELA 11. Matriz de correlação de Pearson para as variáveis condutividade elétrica individual (CEI) e massal (CEM), germinação (G), primeira contagem (PC), emergência de plântulas (E) e produtividade (P), em quatro campos de produção de sementes de soja. UFPel, 2013.

Campo 1

	CEI	CEM	G	PC	E	P
CEI	-	-0.30 ^{ns}	0.61*	0.25 ^{ns}	0.65*	-0.06 ^{ns}
CEM	-0.30 ^{ns}	-	-0.53*	-0.31 ^{ns}	-0.49*	0.52*
G	0.61*	-0.53*	-	0.37*	0.84*	-0.10 ^{ns}
PC	0.25 ^{ns}	-0.31 ^{ns}	0.37*	-	0.20 ^{ns}	0.33*
E	0.65*	-0.49*	0.84*	0.20 ^{ns}	-	-0.16 ^{ns}
P	-0.06 ^{ns}	0.52*	-0.10 ^{ns}	0.33*	-0.16 ^{ns}	-

Campo 2

	CEI	CEM	G	PC	E	P
CEI	-	-0.43*	0.51*	0.35*	0.29 ^{ns}	0.68*
CEM	-0.43*	-	-0.77*	-0.84*	-0.60*	-0.55*
G	0.51*	-0.77*	-	0.67*	0.61*	0.55*
PC	0.35*	-0.84*	0.67*	-	0.62*	0.58*
E	0.29 ^{ns}	-0.60*	0.61*	0.62*	-	0.41*
P	0.68*	-0.55*	0.55*	0.58*	0.41*	-

Campo 3

	CEI	CEM	G	PC	E	P
CEI	-	-0.42*	0.18 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.21 ^{ns}
CEM	-0.42*	-	-0.32*	0.02 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.19 ^{ns}
G	0.18 ^{ns}	-0.32*	-	0.13 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.11 ^{ns}
PC	-0.04 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-	0.15 ^{ns}	0.14 ^{ns}
E	0.11 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-	0.24 ^{ns}
P	0.21 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.24 ^{ns}	-

Campo 4

	CEI	CEM	G	PC	E	P
CEI	-	-0.71*	0.47*	0.44*	0.43*	-0.56*
CEM	-0.71*	-	-0.34*	-0.41*	-0.13 ^{ns}	0.51*
G	0.47*	-0.34*	-	0.85*	0.53*	0.02 ^{ns}
PC	0.44*	-0.41*	0.85*	-	0.34*	-0.11 ^{ns}
E	0.43*	-0.13 ^{ns}	0.53*	0.34*	-	0.09 ^{ns}
P	-0.56*	0.51*	0.02 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-

* Correlação de Pearson significativa a 5% de probabilidade

^{ns} Não significativo

A variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes apresenta dependência espacial, sendo possível através de técnicas de interpolação, agrupar regiões semelhantes e representá-la em mapas, facilitando assim a análise técnica do campo e auxiliar na tomada de decisões.

O teste de condutividade elétrica, tanto individual como massal, é uma ferramenta tecnológica que permite a obtenção do mapa da qualidade fisiológica das sementes em pré-colheita. O tempo para a realização do teste é inferior a 24 horas, o que permite a entrada no campo no dia anterior da colheita total da área, para coleta de plantas nos pontos georeferenciadas da malha de amostragem, trilha e limpeza das amostras e a realização dos testes e elaboração dos mapas. O teste de condutividade elétrica também se caracteriza pelo baixo custo, além de uma metodologia de fácil execução, além de o resultado ser um valor numérico gerado pelo condutivímetro, não dependendo de uma avaliação qualitativa de um analista, que pode ser subjetiva e passível de erro caso o mesmo não esteja bem treinado. Importante lembrar também da necessidade de utilizar condutivímetros calibrados com soluções padrões, além de cuidados com a temperatura caso o aparelho não tenha termômetro acoplado para correção automática da condutividade.

A obtenção de informação prévia a colheita da qualidade da semente torna-se uma ferramenta de gestão para os responsáveis técnicos da produção de sementes, sendo que o mesmo poderá tomar decisão a respeito de subáreas do campo cujas sementes apresentam maior qualidade e outras cujas sementes possuem menor qualidade. Essas informações podem auxiliar

o gerenciamento dos campos de produção de sementes, evitando a colheita de áreas cujas sementes apresentam qualidade inferior, reduzindo custos operacionais, além de evitar a mistura de sementes com qualidades distintas.

5. CONCLUSÃO

Existe variabilidade da qualidade fisiológica e da produtividade de sementes de soja dentro do campo de produção, sendo maior para vigor do que para a viabilidade.

A variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja apresenta dependência espacial, sendo possível, agrupar subáreas semelhantes dentro do campo de produção.

A variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja pode ser estimada através dos testes de condutividade elétrica individual ou massal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRATOS, N. **Agriculture mondiale Horizon**, 2010. Roma: FAO, 442p, 1995.

AMADO, T. J. C. et al . Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007 .

ASH, C. et al. Feeding the future. *Science*, v.327, p.797, 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS- AOSA. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 103 p, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. The Seed Vigor Test Committee. **Seed vigor testing handbook**. [S.I.]. 88p. (The Handbook on Seed Testing, Contribution, 32), 1983.

BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. E. de S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”, 450p, 2000.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo (Origem, Historia e Distribuição) In: **A soja no Brasil**. São Paulo.. Cap 1, p. 14-25, 1981.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisas Pedológicas. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife: MA/DPP, 431p. (Boletim Técnico, 30), 1973.

BRASIL. Lei n. 243, de 20 de dezembro de 2005. Padrões para produção e comercialização de sementes de soja. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dez. 2005. Disponível em: <www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/padroles_soja.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 395p, 2009.

BUANEC, B. LE. Evolution of the seed industry during the past three decades. *In: ISTA News Bulletin* No. 134, ISTA, 6-10 p, 2007.

CARVALHO, J. A. et al . Testes rápidos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Citromelo swingle. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 263-270, 2002 .

CARVALHO, N.M. de; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 588p, 2000.

Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, décimo levantamento, julho 2012. Brasília-DF, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_julho-2012.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.

DALCHIAVON, F.C. et al . Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**., Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012 .

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, n.2,. p.427-452. 1973.

DIAS, D.C.F.S; MARCOS FILHO, J.. Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**., Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 31-42, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2005. Londrina: Embrapa Soja, 239p, 2004.

FRAISSE, C.W. Agricultura de Precisão – **A tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas**. 1998. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2012.

FRANÇA NETO, J. B. et. al. **Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade – Serie Sementes**. Circular Técnica 40. Londrina: Embrapa Soja, 12p, 2007.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **DIACOM: diagnóstico completo da qualidade da semente de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 22 p, 1992. (EMBRAPACNPSO. Circular Técnica, 10).

GIOTTO, L; ROBAINA, A. D.; SULZBACH, L. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro5**, Manual do Usuário, 330p. 2004.

GUERRA, C. A. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum**, v. 28, n. 01, p. 91-97, 2006.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561p, 1989.

JAMES, C. 2012. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012**. ISAAA Brief No. 44. ISAAA: Ithaca, NY, 2012.

JOURNEL, A.G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 85p, 1988.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J: **Mining Geostatistics**. Academic Press, New York, 1992.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p.1248-1256, 2005 .

LACERDA, A.L.S. **Fatores que afetam a maturação e qualidade fisiológica das sementes de soja (Glycine max L.)**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em:

<http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/maturacao/index.htm>. Acesso em: 10/2/2012.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão**. 118p. Ed. Agropecuária, 2001.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. **WinStat - Sistema de Análise Estatística para Windows**. Universidade Federal de Pelotas, RS. 2007

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 495p, 2005.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.1-24, 1999.

MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. Electrical conductivity test. In: PERRY, D.A. (Ed.) **Handbook of vigor test methods**. Zurich: ISTA, p.37-42, 1981.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina, v. 33, n. 4 p. 608 - 615, 2011.

MATTIONI, N. M. et. al. Soybean seed size and quality as a function of soil compaction. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 40, n. 3, p. 333-343, 2012.

MAZOYER, M. I.; ROUDART, L. **História das agriculturas do Mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo, Editora da UNESP; Brasília, NEAD, 568p, 2010.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. **Future Directions of Precision Agriculture**. Precision Agriculture, v. 6, p. 7-23, 2005.

MENEZES, N. L. **Testes rápidos para a determinação da qualidade de sementes**, Em: <http://www.ufsm.br/sementes/trapidos.htm>. Acesso em 14 de março de 2013.

MIYASAKA, S. **A soja no Brasil Central** (compact disc). Biblioteca Virtual de Publicações Técnicas, São Paulo: FUNDAÇÃO CARGILL, 1986.

MONDO, V.H.V. et al . Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p.193-201, 2012 .

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

MOORE, R.P. **Handbook on tetrazolium testing**. International Seed Testing Association, Zurich, 99p, 1985.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 43p, 1961.

MULLA, D. J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON. W. E. (Ed.). **Soil specific crop management**. Madison: ASA, p. 15-26, 1993.

NEDEL, J. L. Fundamentos da qualidade de sementes. In: PESKE, S.T. et al. (Ed.) **Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos**, Pelotas: Editora Universitária/UFPel, p.94 – 136, 2003.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de sementes**. In: PESKE, S.T. et al. (Ed.) **Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos**, Pelotas: Editora Universitária/UFPel, p.96 – 138, 2003.

QUINTANILHA, J. A.; DOZZI, L. F. S. **Estudo e implementação de novas técnicas e desenvolvimento de programas em Geoestatística: aplicações em Geologia**. Relatório IPT 27799, 1989.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 85-91, 2000.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 400p, 2004.

STEERE, W.C.; LEVENGOOD, W.C.; BONDIE, J.M. An eletronic analyser for evaluating seed germination and vigor. **Seed Science and Technology**, v.9, n.2, p.567-576, 1981.

U.S. Department of Agriculture, **World Agricultural Supply and Demand Estimates**, WASDE 510, September 2012, disponível em: <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.; Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (ED). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, cap. 4, p. 1-26, 1999.

VIEIRA, R. D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

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

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of same physical properties of the soil. In: Hill, D. ed. **Applications of soil physics**, New York: Academic Press, Cap. 13, p. 319-344. 1980.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.