

# Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão

Naylor Bastiani Perez<sup>1\*</sup>, Marcos Corrêa Neves<sup>2\*</sup>, Leandro Bochi da Silva Volk<sup>1\*</sup>, Leonardo Alves Martins<sup>3</sup>, Rodison Natividade Sisti<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadores A. Embrapa Pecuária Sul

<sup>2</sup> Pesquisador A. Embrapa Meio Ambiente

<sup>3</sup> Estudante de graduação em agronomia, Urcamp

<sup>4</sup> Analista. Embrapa Pecuária Sul

\*e-mail: [naylor@cppsul.embrapa.br](mailto:naylor@cppsul.embrapa.br); [marcos@cnpma.embrapa.br](mailto:marcos@cnpma.embrapa.br); [leandro.volk@cppsul.embrapa.br](mailto:leandro.volk@cppsul.embrapa.br); [rodson@cppsul.embrapa.br](mailto:rodson@cppsul.embrapa.br)

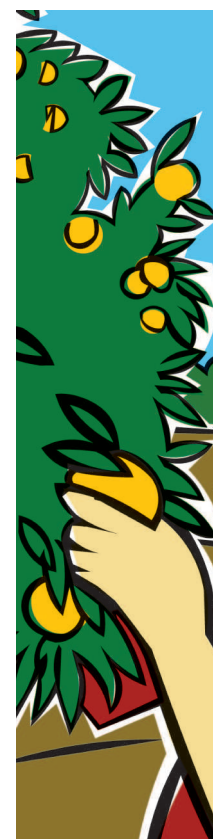
**Resumo:** Um sistema de Integração Lavoura-Pecuária típico da Região Sul do Brasil, envolvendo a sucessão de cultivos de soja e pastagem de inverno foi caracterizado quanto a diferentes atributos de solo, incluindo a condutividade elétrica. A análise geoestatística permitiu caracterizar a dependência espacial para diferentes variáveis estudadas utilizando 46 pontos amostrais em 21 ha. Foram realizados estudos com a movimentação de cochos de suplementação mineral que permitiram modelar a dispersão de fezes de bovinos de acordo com a distância do ponto de instalação do cocho. A prática da movimentação dos cochos, após validação, poderá ser incorporada em sistemas produtivos de modo a impactar positivamente alguns atributos do solo e a produtividade dos cultivos. Dois anos de utilização do sistema integrado não permitiu o esgotamento do banco de sementes do solo do capim-annoni, ocasionando um padrão de reinfestação associado às áreas de maior condutividade elétrica do solo.

**Palavras-chave:** mapeamento da condutividade elétrica, zonas de manejo, zootecnia de precisão, controle de capim-annoni, ILPF.

## *Spatial and temporal variability in crop-livestock systems in southern Brazil: prospects for intervention with precision agriculture*

**Abstract:** A typical crop-livestock system of southern Brazil, using soybean and temperate pasture succession was characterized with different attributes of soil, including the electrical conductivity. The geostatistical analysis allowed to characterize the spatial dependence for different variables using 46 sampling points on 21 ha. Studies were performed with the movement of mineral supplementation troughs that allowed modeling the spread of bovine feces according to the distance from the installation point of the trough. After validation, the practice of moving the troughs can be incorporated into production systems in order to positively impact some soil attributes and crop productivity. Two years of use of the integrated system did not allow a depletion of soil seed bank of tough-lovegrass, causing a pattern of reinfestation associated to higher soil electrical conductivity areas.

**Keywords:** electrical conductivity, management zones, animal husbandry precision, tough lovegrass control, crop-livestock.



## 1. Introdução

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária da Região Sul do Brasil permitem estabelecer sucessões entre a fase pecuária e a fase agrícola dentro de um mesmo ano, em uma mesma área. No extremo sul dessa região, na Campanha Meridional do Rio grande do Sul, a elevada evapotranspiração e a forte influência do fenômeno “La Niña” durante o verão, acarretam frustrações de safra importantes, limitando e expansão de cultivos agrícolas em sistemas não irrigados. Nessa condições, os sistemas integrados predominam por assegurar a geração de renda em anos de baixa produtividade agrícola, pela comercialização da produção animal. Devido ao uso atual de variedades transgênicas de soja, tolerantes ao herbicida glifosato, os sistemas integrados são também utilizados como forma de controle da principal invasora de pastagens da região, o capim-annoni. Nesse caso, o tempo de permanência do sistema para o esgotamento das sementes armazenadas no solo e seu impacto no potencial de recuperação das pastagens naturais pelas espécies nativas é desconhecido. Além disso, dentro de uma perspectiva de manejo baseada na caracterização da variabilidade e na intervenção sitio-específica, o impacto dos animais nos sistemas integrados é pouco conhecido, razão pela qual, o grupo de pesquisa de Integração Lavoura-Pecuária da Embrapa Pecuária Sul, juntamente com a Embrapa Meio Ambiente, iniciaram a condução de ensaios de caracterização da variabilidade espacial nos sistemas integrados de produção de soja e pastagens de inverno, de forma a identificar as características chave no desempenho do sistema, e permitir o desenvolvimento de práticas e processos de intervenção sitio-específica, tanto na fase agrícola como na fase pecuária. Uma vez implementados, esses procedimentos poderão ser validados quanto à sua efetividade e economicidade, de modo a melhorar o desempenho dos sistema. Neste primeira etapa do desenvolvimento do projeto foram coletadas e analisadas informações básicas e iniciado a condução de ensaios que visam a caracterização da variabilidade espacial de fatores relevantes ao desempenho do sistema, o desenvolvimento de práticas e processos de intervenção e a avaliação desses na economicidade dos sistemas de integração lavoura-pecuária.

## 2. Material e métodos

A Unidade Piloto associada ao projeto é dividida em duas áreas contíguas, A1 e A2, cuja cobertura vegetal era composta por pastagem nativa invadida por capim-annoni (mais de 60% do solo coberto pela invasora), em um Luvisolo Háptico órtico típico, totalizando 109 ha, com coordenadas centrais 53,9895 °O e 31,3192 °S, pertencentes à Fazenda Experimental da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS. Inicialmente, foi realizado um levantamento da condutividade elétrica do solo (CE) em ambas as áreas, entre 30 de junho e 07 de julho de 2010, utilizando o sistema Veris 3100. As medidas de posição foram efetuadas com o GPS Trimble AG114, com correção diferencial via satélite. Na área A1, ocupada desde 2008 com um sistema de integração lavoura-pecuária baseado na sucessão de soja e pastagem de azevém, coletou-se informações referentes aos atributos de solo, produtividade, ocorrência de plantas invasoras, a fim de explorar a variabilidade espacial e contrastá-la com as informações obtidas no mapeamento da CE, de forma a determinar zonas de manejo homogêneas. Para tanto, foram distribuídos sobre 21 ha da área A1, 46 pontos amostrais, georreferenciados, coletando-se: i) atributos químicos do solo; ii) atributos físicos (umidade, temperatura e resistência à penetração); iii) produtividade local da soja. As amostras de solo foram coletadas ao final do ciclo de cultivo da soja, nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo cada ponto amostral constituído por cinco sub-amostras, coletadas em “X”, com as quatro sub-amostras das extremidades do “X” coletadas nas entrelinhas da soja, e a sub-amostra central, coletada sobre a linha de semeadura da soja. No mesmo local, a produtividade da soja foi amostrada em três linhas adjacentes, um metro linear por linha de semeadura, sendo a linha central a mesma amostrada pela sub-amostra de solo. Essas medidas compostas, de solo e de produtividade, foram relacionadas com a CE de forma a prospectar correlações entre as três variáveis. A superfície de CE foi gerada por interpolação dos valores de CE rasa (de 0 a 30 cm), método krigagem, grade de 5 m de espaçamento. As interpolações foram realizadas no aplicativo *Surfer 9*. Para a geração da matriz de correlação e dos gráficos de

espalhamento foi utilizado o software *Estatística 5.5*. As operações de geoprocessamento utilizaram funções dos sistemas *SPRING 5.1.6* e *GVSIG 1.11*. No *SPRING* foi criado um plano de informação do tipo cadastral, onde a representação geográfica dos pontos amostrais foi associada ao conjunto de dados disponíveis, permitindo a utilização de ferramentas da análise espacial de dados e cruzamento das informações. Ainda na área A1, foram realizados estudos exploratórios para verificar o impacto das práticas de manejo com os animais na variabilidade do sistema. Dessa forma, manipularam-se os cochos utilizados para a suplementação mineral de duas maneiras, fixo, durante todo o período ocupado com pastagem, e móvel, movimentando-se a cada duas semanas, visando uma menor concentração das fezes e adensamento do solo ao longo da estação de crescimento. Semanalmente, foi acompanhada a distribuição das placas de fezes no solo, em seções circulares de dois metros de largura, adjacentes, a partir do centro do cocho, de forma a amostrar toda a superfície influenciada pela presença do cocho. Após o término da ocupação da área com os animais, antes do plantio, os cochos foram retirados e a sua localização georreferenciada, a fim de acompanhar os efeitos do manejo fixo e móvel na resistência à penetração do solo, medida através de penetrometro, e na produtividade dos cultivos subsequentes. Com o objetivo de verificar a ocorrência de reinfestação da área

pelo capim-annoni ao longo do tempo, parte da área A1 foi mantida em pousio, após dois ciclos de produção de soja e de azevém, verificando-se a germinação das sementes armazenadas no solo.

### 3. Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os resultados das interpolações, realizadas a partir dos valores amostrados pelo sistema Veris, para os dois potreiros. Para efeito de visualização, os valores resultantes da interpolação foram agrupados em cinco classes. Embora os levantamentos tenham ocorrido em dias distintos e o procedimento de interpolação realizado separadamente, os dois resultados apresentados lado a lado são coerentes. Na Tabela 1 são apresentados os índices de correlação (índice de Person) envolvendo o conjunto de atributos de solo analisados, incluindo o valor da CE obtido para os mesmos pontos. Os valores em vermelho correspondem aos índices que apresentaram uma significância estatística acima do nível  $p = 0,05$  (assumindo-se normalidade na distribuição dos desvios da reta de regressão). A CE se correlacionou, de forma significativa, com 7 dos 19 parâmetros, sendo que a maior correlação ocorreu com o teor de Mg (0,55). Os valores de CE usados nesta análise foram obtidos pelo cruzamento dos planos de informação correspondente à superfície interpolada de CE e os pontos amostrais.

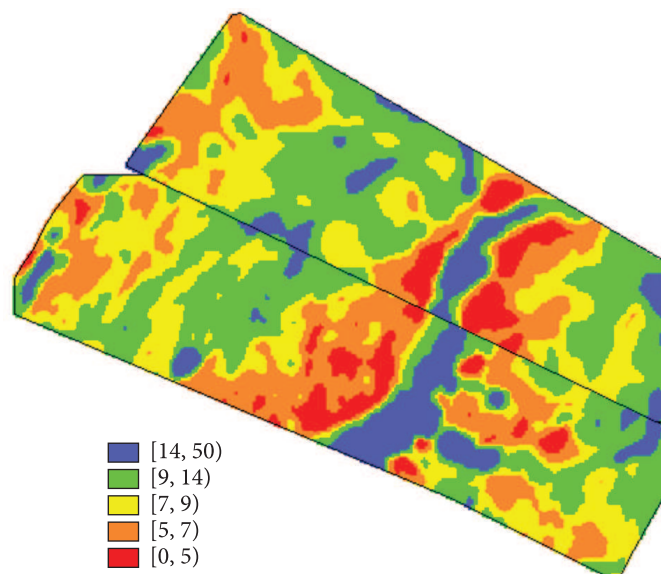


Figura 1. Resultado da interpolação da condutividade elétrica, em cinco classes.

| Correlations (subvar1sembrancos.sta)              |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |        |
|---|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|--------|
| Marked correlations are significant at p < .05000 |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |        |
| N=33 (Casewise deletion of missing data)          |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |        |
| Variable  | CE   | PRODUT | UMID | TEMP | ARG  | PH   | P    | K    | MO   | AL   | CA   | MG   | AL_H | CTC  | SAT_BASE | SAT_AL |
| CE  | 1.00 | .34    | .47  | -.34 | .34  | .31  | -.24 | -.13 | .35  | .02  | .59  | .72  | -.03 | .23  | .29      | -.41   |
| PRODUT  | .34  | 1.00   | .12  | .08  | .02  | .44  | -.09 | -.25 | .40  | -.27 | .35  | .34  | -.04 | .10  | .21      | -.41   |
| UMID  | .47  | .12    | 1.00 | -.52 | .41  | .21  | -.34 | .10  | .44  | .01  | .50  | .42  | .30  | .47  | -.09     | -.31   |
| TEMP  | -.34 | .08    | -.52 | 1.00 | -.42 | -.14 | .36  | -.25 | -.43 | -.25 | -.38 | -.35 | -.43 | -.56 | .27      | .09    |
| ARG   | .34  | .02    | .41  | -.42 | 1.00 | .30  | -.38 | .09  | .48  | .27  | .37  | .40  | .42  | .55  | -.26     | -.02   |
| PH  | .31  | .44    | .21  | -.14 | .30  | 1.00 | .03  | -.06 | .35  | -.19 | .29  | .34  | .37  | .48  | -.19     | -.29   |
| P   | -.24 | -.09   | -.34 | .36  | -.38 | .03  | 1.00 | .23  | -.29 | -.11 | -.23 | -.09 | -.33 | -.37 | .28      | -.03   |
| K   | -.13 | -.25   | .10  | -.25 | .09  | -.06 | .23  | 1.00 | .28  | .21  | .13  | .23  | .13  | .21  | -.01     | -.04   |
| MO  | .35  | .40    | .44  | -.43 | .48  | .35  | -.29 | .28  | 1.00 | .01  | .59  | .45  | .29  | .50  | -.04     | -.33   |
| AL  | .02  | -.27   | .01  | -.25 | .27  | -.19 | -.11 | .21  | .01  | 1.00 | -.20 | .09  | .49  | .43  | -.48     | .75    |
| CA  | .59  | .35    | .50  | -.38 | .37  | .29  | -.23 | .13  | .59  | -.20 | 1.00 | .77  | -.11 | .27  | .47      | -.74   |
| MG  | .72  | .34    | .42  | -.35 | .40  | .34  | -.09 | .23  | .45  | .09  | .77  | 1.00 | .04  | .39  | .32      | -.50   |
| AL_H  | -.03 | -.04   | .30  | -.43 | .42  | .37  | -.33 | .13  | .29  | .49  | -.11 | .04  | 1.00 | .92  | -.91     | .46    |
| CTC   | .23  | .10    | .47  | -.56 | .55  | .48  | -.37 | .21  | .50  | .43  | .27  | .39  | .92  | 1.00 | 1.00     | .17    |
| SAT_BASE  | .29  | .21    | -.09 | .27  | -.26 | -.19 | .28  | -.01 | -.04 | -.48 | .47  | .32  | -.91 | -.69 | 1.00     | -.68   |
| SAT_AL  | -.41 | -.41   | -.31 | .09  | -.02 | -.29 | -.03 | -.04 | -.33 | .75  | -.74 | -.50 | .46  | .17  | -.68     | 1.00   |

CE: condutividade elétrica

PRODUT: produtividade da soja

UMID: Umidade

TEMP: Temperatura

ARG: argila em %

PH: Potencial Hidrogeniônico

P: Fósforo; K: Potássio

MO: Matéria orgânica

AL: Alumínio

CA: Cálcio

MG: Manganês

AL\_H: Al + H

CTC: Capacidade de troca catiônica

SAT\_BASE: Saturação de bases

SAT\_AL: Saturação CTC(Al)

Tabela 1. Matriz de correlação entre diversos atributos de solo.

Na Figura 2, o Potreiro 20 aparece repartido em três zonas de manejo, estabelecidas em função do mapeamento da CE. Para que fosse possível visualizar espacialmente a correlação existente entre a CE e o teor de Manganês (0,72), foram alocados círculos vermelhos, com centro nas posições correspondentes às amostras de solo e raio proporcional ao teor de Mg. O procedimento foi executado também para a matéria orgânica (0,37), com um resultado inferior.

Foram realizadas também interpolações pelo método da krigagem para a matéria orgânica e argila, usando o conjunto de 46 amostras. O objetivo desta atividade foi avaliar se com a densidade de amostras disponível (2,2 amostras/ha) era possível identificar a dependência espacial. A Figura 3 mostra o variograma obtido para a matéria orgânica e o resultado da interpolação. A avaliação dos efeitos dos diferentes métodos de manejo dos cochos mostrou influência positiva da maior deposição das fezes na produtividade dos cultivos subsequentes. Embora a densidade de fezes tenha sido quase dez vezes maior nos primeiros dois metros de distância do cocho, não houve correspondência de maior produção nesta área, isto porque, houve também uma maior resistência à penetração do solo (RP), devido ao maior pisoteio dos animais. Esse efeito mostrou-se mais contundente no entorno do cocho fixo, onde se verificou valores acima de 2,5 MPa no raio de 2 m de distância. As avaliações da vegetação espontânea após dois ciclos de produção, mostrou diferentes graus de reinfestação pelo capim-annoni, localizada

em áreas bem delimitadas, consistentemente associadas à maior condutividade elétrica do solo.

#### 4. Conclusões

As análises geoestatísticas, usando um conjunto de 46 pontos amostrais em uma área de 21 ha, mostraram que a densidade de pontos utilizada foi suficiente para capturar estruturas de dependência espacial para as variáveis avaliadas, dirimindo uma dúvida recorrente, referente à densidade mínima de amostra para capturar a dependência espacial de variáveis ambientais.

A condutividade elétrica do solo permitiu definir de zonas de manejo coerentes com as expectativas e com os níveis de correlação com as demais variáveis estudadas que, embora em sua maioria baixos, são compatíveis com os achados em trabalhos similares, onde em geral, ocorre um conjunto de correlações com atributos de solo em diferente níveis.

Os estudos exploratórios envolvendo a comparação entre cochos fixos e móveis possibilitou o desenvolvimento de uma prática de manejo que poderá, após a validação, ser empregada em sistemas de produção.

O uso do sistema de Integração Lavoura-Pecuária envolvendo a sucessão de cultivos de soja transgênica e pastagem de inverno por dois anos consecutivos não foi suficiente para conter a reinfestação pelo capim-annoni, a qual se apresentou associada às áreas com maior condutividade elétrica do solo.

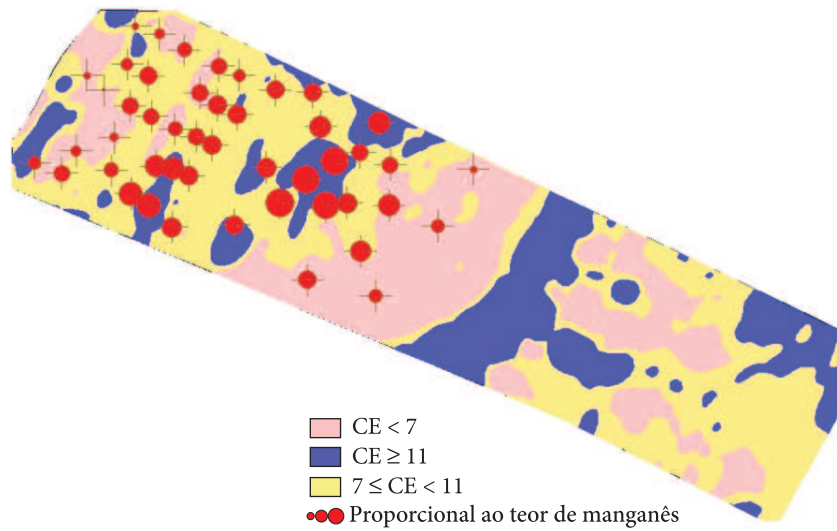


Figura 2. Teor de manganês sobre as zonas de manejo.

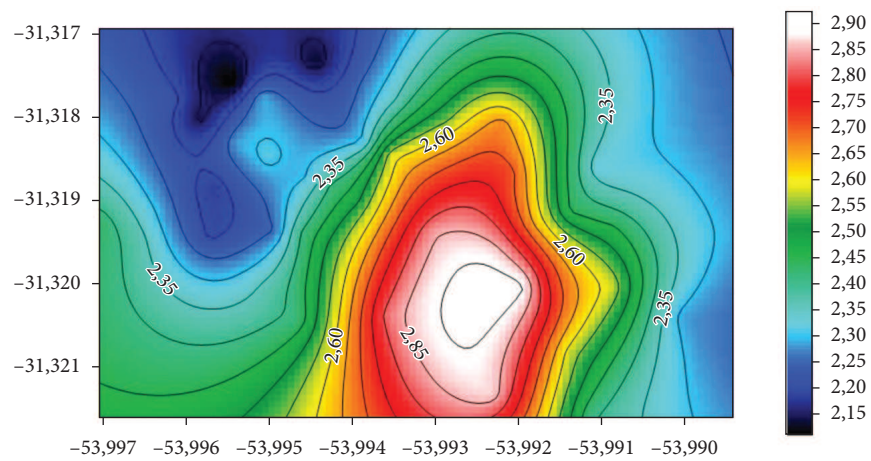
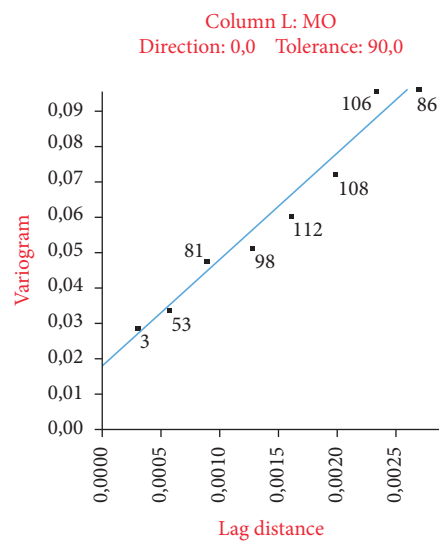


Figura 3. Krigagem para as 46 amostras de teor de matéria orgânica.