

COMPORTAMENTO ESPACIAL DA DEMANDA ENERGÉTICA EM SEMEADURA DE AMENDOIM EM LATOSSOLO SOB PREPARO CONVENCIONAL

ANDERSON DE TOLEDO¹, CARLOS E. A. FURLANI², ROUVERSON P. DA SILVA³,
AFONSO LOPES⁴, MIGUEL J. DABDOUB⁵

RESUMO: A mecanização desempenha papel fundamental na produção agrícola e, conseqüentemente, na composição dos custos. Os adequados planejamento e gerenciamento dos sistemas mecanizados contribuem para a racionalização e redução dos gastos e melhoria do produto final. O objetivo deste trabalho foi estudar e caracterizar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração, da demanda energética e do desempenho operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora em semeadura de amendoim, atuando com 5% de biodiesel etílico destilado de amendoim, em solo sob preparo convencional. As variáveis avaliadas neste estudo foram: força e potência requeridas na barra de tração, capacidade de campo efetiva, consumo de combustível, consumo de energia, patinagem dos rodados e resistência mecânica do solo à penetração. Pelos resultados obtidos, concluiu-se que a variabilidade espacial das variáveis ligadas ao conjunto mecanizado depende principalmente da direção de deslocamento e que a resistência mecânica do solo à penetração não apresentou correlação com as outras variáveis. O consumo específico de combustível demonstrou correlação negativa com a força de tração, indicando que houve melhor aproveitamento da energia disponibilizada pelo combustível para maior exigência de tração.

PALAVRAS-CHAVE: consumo de combustível, geoestatística, desempenho operacional, penetrógrafo.

SPATIAL BEHAVIOR OF ENERGETIC DEMAND IN PEANUT SOWING IN LATOSOL UNDER CONVENTIONAL TILLAGE

ABSTRACT: The mechanization plays a major role in agricultural production and consequently at its costs. The correct management of mechanized systems contributes to its optimization and decreases its costs, making the final product better. The aim of this research was to study and characterize the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration, energetic demand and operational performance of a tractor-seeder-fertilizer system at peanut sowing operation, working with 5% distilled ethylic peanut biodiesel, in conventional tillage system. Were evaluated the required drawbar force and power, effective field capacity, fuel and energy consumption, slippage and the soil mechanical resistance to penetration. By the results, were concluded that the spatial variability of the variables related to mechanized system depends on displacement direction; the soil mechanical resistance did not demonstrate correlation with the other variables. The specific fuel consumption showed negative correlation with the drawbar force, indicating better use of fuel energy available for greater traction demand.

KEYWORDS: fuel consumption, geostatistic, operational performance, penetrometer.

¹ Eng^o Agrícola, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal - SP. Bolsista do CNPq.

² Eng^o Agrônomo, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal - SP. Bolsista de Produtividade CNPq.

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal - SP. Bolsista de produtividade CNPq.

⁴ Eng^o Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, FCAV-UNESP, Jaboticabal - SP.

⁵ Químico Industrial, Prof. Dr., Departamento de Química, FFCL-USP, Ribeirão Preto - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 31-1-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 3-10-2009

INTRODUÇÃO

O custo de produção no contexto agrícola, concordando com MILAN (1998), citado por PRADO et al. (2002), é composto basicamente pelos insumos, administração e operações agrícolas.

Portanto, o dispêndio nessas operações deve ser planejado de forma racional, a fim de que haja aumento da rentabilidade no campo.

Quanto às operações agrícolas mecanizadas, parte do custo é atribuída ao consumo de combustível, mais especificamente de energia, em função da capacidade operacional de produção, que, no caso da semeadura, é obtido pela exigência de tração.

A força de tração exigida em operação de semeadura de precisão (semeadura, adubação e aplicação de herbicida), incluída a resistência ao rolamento, segundo ASABE (2006a), deve ser aproximadamente de 3,4 kN por linha, com variação de 35% para mais ou para menos.

FURLANI et al. (2004) avaliaram a força de tração, o consumo de energia e a patinagem em operação de semeadura, em função do preparo do solo e ao manejo da cultura de cobertura, encontrando para solo sob preparo convencional 2,17 kN por linha, 10,93 kWh ha⁻¹ e 9,39%, respectivamente, para as variáveis citadas.

De acordo com LOPES et al. (2003b), o consumo de combustível de tratores agrícolas é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

FIDALSKI et al. (2006), referindo-se a GREGO & VIEIRA (2005), citam que os semivariogramas encontrados para a resistência mecânica do solo à penetração apresentam variações da continuidade espacial, tanto nos alcances, como na profundidade em camada do solo.

Conforme descrevem CARVALHO et al. (2002), há crescente preocupação em medir a variabilidade espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o principal objetivo de reduzir custos.

Características físicas, químicas e biológicas têm sido amplamente investigadas sob o aspecto da variabilidade espacial para a melhoria do processo produtivo agrícola. Porém, também fazem parte desse processo, as operações mecanizadas, como citam PRADO et al. (2002), que, por sua vez, representam uma fatia considerável dos custos de produção.

Considerando tais fatos, o objetivo deste trabalho foi estudar e caracterizar o comportamento da variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração, da demanda energética e do desempenho operacional do conjunto trator-semeadora, atuando com 5% de biodiesel etílico destilado de amendoim, em operação de semeadura em solo sob preparo convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental em que se realizou este trabalho, pertence ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), do Departamento de Engenharia Rural, UNESP/Jaboticabal - SP, coordenadas geodésicas 21°14' S e 48°16' W, altitude média de 560 m, declividade média de 4% e clima Aw (tropical com verão chuvoso), conforme classificação de Köppen-Geiger.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, horizonte A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). O conteúdo médio de água no perfil de 0 a 20 cm do solo durante as avaliações foi de 0,23 kg kg⁻¹, com coeficiente de variação de 7,9%.

A área amostral foi constituída de 96 parcelas georreferenciadas, com dimensões de 10 x 10 m, em malha de 8 x 12. A semeadura do amendoim (*Arachis hypogaea*) foi realizada em solo sob preparo convencional, com uma gradagem pesada e duas gradagens leves, ambas com grades de discos.

A semeadora-adubadora de precisão utilizada foi a Marchesan COP Suprema 7/4, com disco vertical pneumático para distribuição de sementes, discos duplos desencontrados para abertura do

sulco de deposição do adubo (350 kg ha^{-1}), discos duplos para sementes (22 m^{-1}) e rodas aterradoras-compactadoras duplas em “V”, operando com quatro fileiras de semeadura, com espaçamento de 0,90 m.

Para tracionar a semeadora-adubadora, utilizou-se de trator Valtra BM100 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência no motor de 73,6 kW (100 cv) a 2.300 rpm. O combustível utilizado no ensaio foi o biodiesel B5 (5% de biodiesel etílico destilado produzido a partir de óleo de amendoim e 95% de diesel).

A escolha dessa proporção em específico para a realização dos testes é referenciada na Lei nº 11.097 (BRASIL, 2005), que introduz o biodiesel na matriz energética brasileira, fixando em 5% em volume o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, especificando o prazo de oito anos a partir de sua publicação para seu cumprimento.

Foram avaliadas as variáveis força (FT) e potência (P) requeridas na barra de tração, velocidade de deslocamento (v), capacidade de campo efetiva (CCe) e patinagem (pat), estimadas como descrito por FURLANI et al. (2005). O consumo horário volumétrico (C_{VOL}), ponderal (C_{POND}) e específico (C_{ESP}) de combustível foram calculados como demonstram LOPES et al. (2003b), e o consumo de energia (Ce), por FURLANI et al. (2004).

A força requerida na barra de tração foi obtida utilizando-se de uma célula de carga com capacidade máxima de 100 kN e precisão de 10 N, instalada entre o trator e a semeadora. O consumo e a temperatura do combustível, por sua vez, foram obtidos utilizando-se do sistema descrito em LOPES et al. (2003a). A patinagem dos rodados motrizes foi mensurada de forma diferencial entre a quantidade de pulsos gerados por sensores indutivos (*encoders*), instalados em cada roda do trator, fornecendo 60 pulsos a cada volta completa, e a velocidade real de deslocamento foi obtida por uma unidade de radar instalada no trator.

Todos esses sensores estavam ligados a um sistema de aquisição e armazenamento (Micrologger Campbell Scientific, modelo CR23X), adquirindo dados à frequência de 1 Hz, obtendo aproximadamente 18 valores por parcela para cada sensor, calculando-se a média aritmética.

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi realizada nos 96 pontos da malha amostral, utilizando-se do penetrógrafo eletrônico DLG modelo PNT-2000/MOTOR, que segue a norma S313.3 da ASAE (1999), coletando-se dados para a camada de 0-20 cm, com aquisição de uma leitura por centímetro, obtendo-se a média para cada ponto. A camada para avaliação da RMSP foi selecionada em função da profundidade máxima de atuação dos mecanismos da semeadora, ou seja, dos discos para abertura do sulco de deposição do adubo, que foi de 18 cm.

A análise geoestatística foi utilizada para verificar a dependência espacial das variáveis, interpolar os dados e construir mapas de atributos. Foram elaborados semivariogramas, baseados na teoria das variáveis regionalizadas para dados não tendenciosos, com o cálculo da autocorrelação estatística entre os dados amostrais, definindo a semivariância $\gamma(h)$ como demonstra a eq.(1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_i - Z_{i+h}]^2 \quad (1)$$

em que,

$\gamma(h)$ - semivariância para a classe de intervalos com distância h ;

$N(h)$ - número de possíveis pares de observações separadas por um vetor de módulo h , e

Z_i e Z_{i+h} - valores medidos nos pontos i e $i+h$.

Quando a autocorrelação entre os dados é presente, a semivariância é baixa para as menores distâncias. Uma vez detectada essa autocorrelação ou dependência espacial dos dados, por meio do semivariograma experimental, o ajuste do modelo foi realizado pelo *software* GS⁺ (ROBERTSON, 2008) com base no menor valor da soma dos quadrados residual (SQR).

A SQR demonstra uma medida exata de quão bem o modelo ajusta o semivariograma aos dados. Quanto menor o valor, melhor ajustado está o modelo. Quando o GS⁺ autoajusta o modelo, usa a SQR para selecionar os parâmetros (efeito pepita, patamar e alcance) para cada um dos modelos de semivariograma (linear, esférico, exponencial ou gaussiano), determinando a melhor combinação entre esses parâmetros a fim de minimizar a SQR para qualquer modelo escolhido (ROBERTSON, 2008). Portanto, a seleção entre os modelos de semivariograma fornecidos pelo programa foi baseada na observação da menor SQR.

O modelo selecionado foi ajustado para a geração dos mapas de atributos com base na técnica da validação cruzada, obtendo-se o melhor coeficiente de correlação (próximo a 1,00). Nessa técnica, cada ponto medido na malha amostral é removido individualmente do local e tem valor estimado pela interpolação adotada como se não existisse. Dessa maneira, consegue-se avaliar a aproximação do valor real com o valor interpolado, obtendo-se, assim, a correlação entre os mesmos (ROBERTSON, 2008).

Após a seleção do semivariograma ajustado à variável, os mapas de isolinhas foram obtidos com a interpolação via krigagem, que obtém valores para os pontos não amostrados espacialmente por meio dos semivariogramas, que fornecem as informações sobre a correlação espacial existente entre os dados amostrados. Nos casos em que os dados apresentaram anisotropia, foi obtido o “variograma médio” entre as direções de maior e menor continuidade espacial, combinando os modelos para essas direções num único modelo (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Conforme citam GREGO & VIEIRA (2005), a construção de mapas, utilizando-se da krigagem, é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial, pois as informações visuais fornecidas pelos mapas servem de auxílio na tomada de decisões, em função das propriedades analisadas.

Foi obtido, com base nos parâmetros do semivariograma, o avaliador de dependência espacial (ADE), que é a proporção da variância estrutural (C) em relação ao patamar ($C_0 + C$). Se o valor de ADE for igual a 1, significa que o semivariograma não apresenta efeito pepita e, conseqüentemente, quando for zero, não há dependência espacial, considerando-se efeito pepita puro. Quando o ADE for superior a 0,75, a dependência espacial é considerada forte; entre 0,75 e 0,25 dependência moderada, e abaixo de 0,25, dependência fraca (LANDIM, 1998).

A análise geoestatística e a elaboração dos mapas de atributos obtidos por interpolação via krigagem, utilizando os modelos ajustados aos semivariogramas, foram realizadas nos programas GS⁺ (ROBERTSON, 2008) e Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise geoestatística, conforme parâmetros visualizados na Tabela 1, as variáveis FT, P, C_{POND}, C_{ESP} e Ce demonstraram dependência espacial moderada, e as outras variáveis apresentaram dependência espacial forte, considerando o avaliador de dependência espacial (ADE). Esse parâmetro mostra a importância de realizar a caracterização espacial das variáveis, devido à dependência existente no espaço, conseguindo-se, assim, a representação visual de cada atributo. Com relação a essas mesmas variáveis - exceto C_{POND} -, o comportamento espacial demonstrou anisotropia, com direção de maior continuidade a 96° em relação ao Norte, coincidindo com a direção do deslocamento do conjunto mecanizado.

Como explicam CARDIM & CATANEO (2005), o alcance da dependência espacial fornece informações sobre a distância em que os pontos amostrados estão parcialmente correlacionados, ou seja, a distâncias iguais ao alcance existe dependência espacial entre os pontos, podendo, dessa maneira, serem estimados valores não amostrados dentro desse alcance para a variável em questão. Conseqüentemente, pontos separados por distâncias superiores ao alcance são considerados independentes entre si.

TABELA 1. Parâmetros dos semivariogramas ajustados. **Fitted semivariogram parameters.**

Variável	Parâmetros dos Semivariogramas						ADE C/(C ₀ +C)
	Modelo	C ₀	C ₀ +C	Alcance Efetivo (m)	R ²	SQR	
FT (kN)	Anisotrópico Exponencial	1,15	3,45	A ₁ : 1.999,5 A ₂ : 1.321,2	0,312	7,53	0,666
v (m s ⁻¹)	Gaussiano	0,00	1,00 10 ⁻³	21,65	0,743	1,33 10 ⁻⁷	1,000
P (kW)	Anisotrópico Exponencial	2,31	7,34	A ₁ : 665,1 A ₂ : 664,8	0,321	30,9	0,685
CCe (ha h ⁻¹)	Gaussiano	0,00	1,68 10 ⁻³	21,82	0,737	3,86 10 ⁻⁷	1,000
C _{VOL} (L h ⁻¹)	Exponencial	3,81 10 ⁻²	2,67 10 ⁻¹	42,30	0,564	1,07 10 ⁻²	0,857
C _{POND} (kg h ⁻¹)	Exponencial	7,70 10 ⁻²	2,12 10 ⁻¹	107,70	0,641	5,48 10 ⁻³	0,637
C _{ESP} (g kWh ⁻¹)	Anisotrópico Gaussiano	2.984	8.614	A ₁ : 4.155 A ₂ : 504	0,216	4,79 10 ⁷	0,653
Ce (kWh ha ⁻¹)	Anisotrópico Exponencial	0,65	1,98	A ₁ : 1.578,3 A ₂ : 1.223,7	0,310	2,45	0,670
pat (%)	Esférico	1,80 10 ⁻²	1,28	15,70	0,534	4,71 10 ⁻²	0,986
RMSP (MPa)	Esférico	4,30 10 ⁻²	9,65 10 ⁻¹	19,10	0,328	1,41 10 ⁻¹	0,955

C₀ - efeito pepita; C₀+C - patamar; A₁ e A₂ - alcances nas direções de maior e menor continuidade; R² - coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrados dos resíduos; ADE - avaliador da dependência espacial.

A RMSP apresentou alcance de aproximadamente 19 m, podendo ser amostrada em intervalos maiores do que o utilizado (10 m), visto que, a distâncias menores que o alcance, os valores de RMSP podem ser interpolados sem prejudicar a estimativa. A anisotropia das variáveis citadas e a forte dependência para as outras variáveis relacionadas ao conjunto mecanizado demonstram que este comportamento espacial segue padrão definido, e que depende mais da direção de deslocamento do que do acaso.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis estudadas podem ser visualizados na Tabela 2, em que os valores destacados em negrito apresentam correlação significativa.

TABELA 2. Matriz de correlação entre as variáveis. **Correlation matrix between variables.**

	FT	v	P	Cce	C _{VOL}	C _{POND}	C _{ESP}	Ce	pat
v	-0,249 0,014								
P	0,986 0,000	-0,086 0,405							
Cce	-0,230 0,024	0,993 0,000	-0,066 0,521						
C _{VOL}	-0,056 0,586	0,516 0,000	0,029 0,778	0,524 0,000					
C _{POND}	-0,033 0,750	0,529 0,000	0,057 0,584	0,538 0,000	0,998 0,000				
C _{ESP}	-0,941 0,000	0,269 0,008	-0,921 0,000	0,254 0,013	0,346 0,001	0,323 0,001			
Ce	0,999 0,000	-0,257 0,011	0,985 0,000	-0,239 0,019	-0,062 0,547	-0,038 0,715	-0,940 0,000		
pat	0,118 0,254	-0,150 0,146	0,089 0,390	-0,140 0,175	-0,027 0,795	-0,037 0,724	-0,106 0,302	0,115 0,264	
RMSP	-0,080 0,441	-0,041 0,690	-0,096 0,352	-0,060 0,562	-0,071 0,489	-0,076 0,461	0,077 0,456	-0,081 0,433	0,111 0,282

Células contêm na linha superior o coeficiente de correlação de Pearson e, na inferior, o valor-p, significativo quando p < 0,05.

Na Figura 1, estão representados os mapas de interpolação dos atributos, obtidos via krigagem dos dados, que possibilitam a visualização da dependência espacial das variáveis.

Os mapas das variáveis FT e P demonstram visualmente a divisão da área em três faixas longitudinais, coincidentes com a direção de deslocamento do conjunto trator-semeadora, correspondendo geograficamente a três terraços existentes na área experimental. Nota-se, ainda, que, na região central dos mapas, os valores para força de tração (FT), potência requerida (P) e consumo de energia (Ce) foram menores, e mais elevados nas regiões de extremo, demonstrando que estas variáveis apresentaram correlação positiva, confirmado na Tabela 2.

Na região central da área experimental, a força de tração apresenta valores entre 9,7 e 10,7 kN, e nas outras faixas, predominantemente valores superiores a 10,7 kN. A potência requerida na barra de tração apresentou comportamento similar - visto que a velocidade foi praticamente constante - com valores abaixo de 17,3 kW para a região central, e acima desse valor para 62% da área de estudo. Da mesma maneira, a distribuição espacial do consumo de energia (Ce) foi inferior a 8,5 kWh ha⁻¹, na porção central e parte da inferior, e chegando a 9,5 kWh ha⁻¹ no restante da área.

Esses resultados, comparados aos relatados por FURLANI et al. (2004) para o preparo convencional, são inferiores para força e potência na barra de tração, e similares quanto ao consumo de energia para a operação de semeadura.

A velocidade de deslocamento e a capacidade de campo efetiva demonstraram comportamento homogêneo, ou seja, com baixa variabilidade, indicada pelos baixos coeficientes de variação, 1,9 e 1,92%, respectivamente. Para a velocidade, os valores encontrados ficaram entre 1,57 e 1,68 m s⁻¹, enquanto a C_{CE} obteve valores de 2,04 ha h⁻¹, não ultrapassando 2,18 ha h⁻¹.

O consumo de combustível, tanto volumétrico (C_{VOL}) como ponderal (C_{POND}), demonstrou pouca variação; em 47% da área, o volumétrico ficou entre 10 e 10,5 L h⁻¹, e o ponderal, entre 8,0 e 9,0 kg h⁻¹ para praticamente toda a área.

Quanto ao consumo específico de combustível, a média encontrada foi de 492 g kWh⁻¹, próximo ao encontrado por FURLANI et al. (2005), também para preparo convencional. Percebe-se, para essa variável, que os valores mais elevados foram obtidos na região central da área experimental.

O C_{ESP} apresentou correlação negativa com a força de tração, potência e consumo de energia (Tabela 2), indicando que houve melhor aproveitamento da energia fornecida pelo combustível ao motor nas situações em que a força requerida na barra de tração foi mais elevada (acima de 10,7 kN). Isso significa que foi necessário menor massa de combustível para gerar a mesma quantidade de energia, portanto, nas situações em que a FT foi mais elevada, houve melhor aproveitamento do combustível.

A patinagem dos rodados motrizes demonstrou comportamento espacial indefinido, não exercendo influência sobre as outras variáveis, conforme a matriz de correlação da Tabela 2. Os valores encontrados para patinagem variaram entre 10,5 e 13,5% para 66% da área em estudo, próximo aos valores de patinagem recomendados pela ASABE (2006b), para solos mobilizados (11 a 13%).

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), realizada na camada de 0-20 cm, não demonstrou interferência aparente sobre a demanda energética e o desempenho operacional do conjunto-trator semeadora, com 34% da área apresentando valores variando entre 1,8 e 2,8 MPa, e 38% acima de 2,8 MPa.

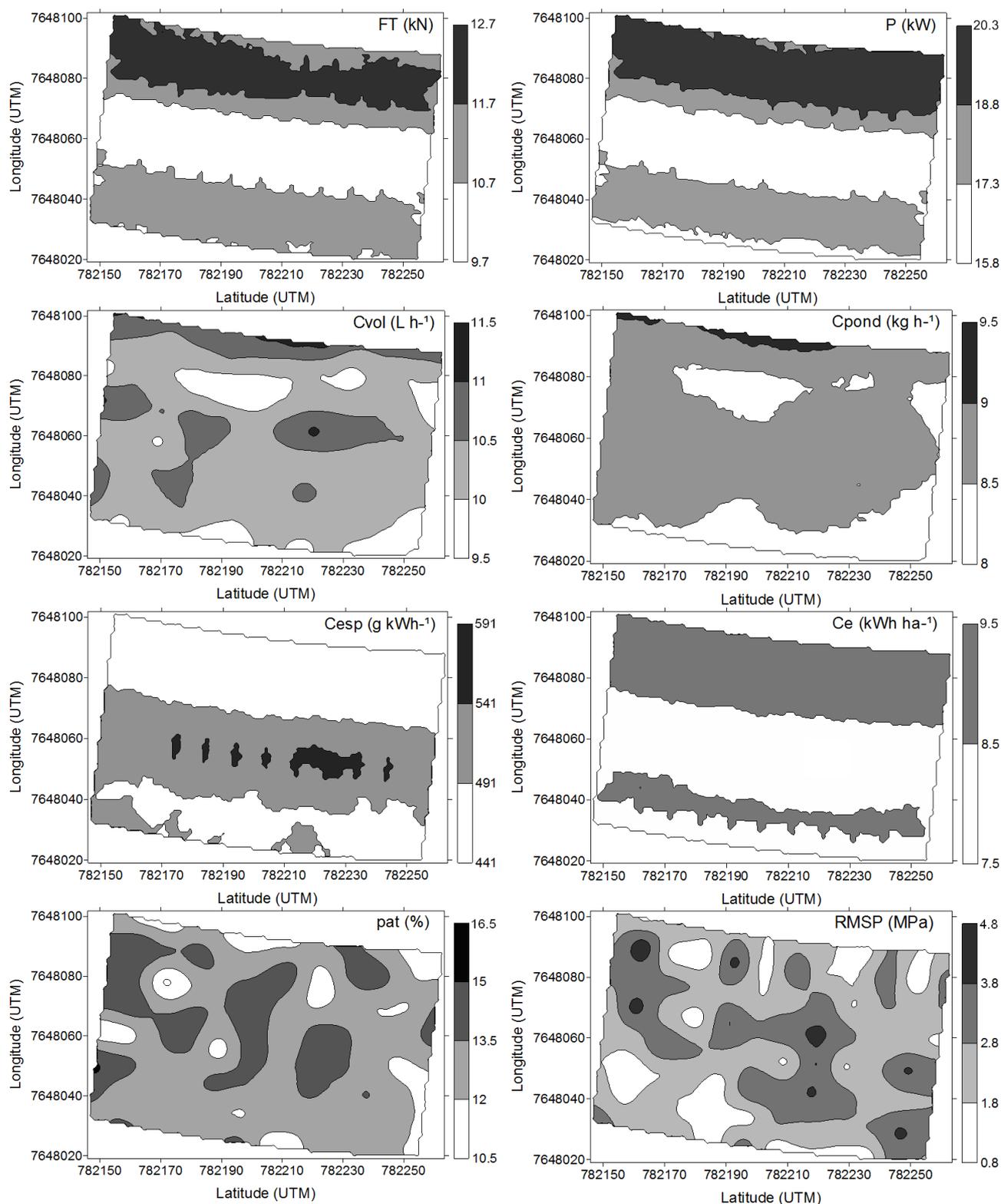


FIGURA 1. Mapas de isolinhas para as variáveis de desempenho operacional e RMSP. **Contour maps for variables of operational performance and RMSP.**

Os resultados obtidos para as variáveis FT, P, Ce e C_{ESP} , para a porção central da área experimental, indicam que houve diferenças durante a operação, quando analisada espacialmente. Portanto, a análise da dependência espacial para operações agrícolas com a utilização de mapas de atributos é uma forma de verificar diferentes situações em uma área previamente considerada homogênea, tornando-se possível realizar a inferência sobre a operação de forma a otimizá-la.

CONCLUSÕES

As variáveis referentes ao conjunto mecanizado apresentaram moderada ou alta dependência espacial e, em alguns casos, influenciadas pela direção de deslocamento do conjunto trator-semeadora.

A resistência mecânica do solo à penetração apresentou dependência espacial forte, não apresentando correlação com as outras variáveis.

O consumo específico de combustível foi maior para as menores exigências de força de tração.

A análise da dependência espacial demonstrou ser ferramenta útil para representar o comportamento das variáveis avaliadas em operação de semeadura.

REFERÊNCIAS

- ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE D497.5: Agricultural machinery management data. In: *ASABE standards 2006*. St. Joseph, 2006a. p.391-398.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE S313.3: Soil Cone Penetrometer. In: *ASAE Standards 1999*. St. Joseph, 1999. p.834-835.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURA ENGINEERS. ASAE EP496.3 Agricultural machinery management. In: _____. St. Joseph, 2006b. p.385-390.
- BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. *Diário oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília - DF, 14 jan. 2005. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em: 30 jan. 2008.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: _____. *Geoprocessamento para projetos ambientais*. 2. ed. rev. e ampl. São José dos Campos: Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. cap. 5. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente>. Acesso em: 2 jul. 2009.
- CARDIM, D.; CATANEO, A. Distribuição espacial da produtividade média anual da cultura do feijão no Estado de São Paulo e sua correlação com índices climáticos. *Energia na Agricultura*, Botucatu v.20, n.1, p.11-28, 2005.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília v.37, n.8, p.1.151-1.159, 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412 p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.6, p.1.773-1.779, 2006.
- FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.2, p.388-395, 2004.
- FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.458-464, 2005.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer 8.0. [S.l.]: Golden Software, 2005.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.29, n.1, p.169-177, 2005.

LANDIM, P.M.B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226 p. (Ciência e Tecnologia)

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. *Revista Brasileira de Agroinformática*, São Paulo, v.5, n.1, p.24-31, 2003a.

LOPES, A.; LANÇAS, K.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D.C.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p.382-386, 2003b.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; FURLANI, C.E.A. *Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 99 p. (Série Engenharia Agrícola)

ROBERTSON, G.P. *GS⁺: geostatistics for the environmental sciences*. Plainwell: Gamma Design Software, 2008.