

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

NATASHA CRISTINA DOS REIS

RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO NA ANÁLISE ESPACIALIZADA DA
PRODUTIVIDADE DE SOJA

UBERLÂNDIA-MG

JULHO-2019

NATASHA CRITINA DOS REIS

RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO NA ANÁLISE ESPACIALIZADA DA
PRODUTIVIDADE DE SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

UBERLÂNDIA-MG

JULHO - 2019

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom do conhecimento e a capacidade de aprender, por todas as oportunidades oferecidas que possibilitaram a concretização das minhas maiores conquistas.

Aos meus pais pela paciência, carinho, dedicação e amor comigo, por serem um dos principais motivos do meu sucesso. Nunca deixando que pare de estudar, pois sabem que a única coisa que nos pertence é o conhecimento.

A todos os meus amigos que caminharam comigo durante todos os anos de aprendizagem.

À Universidade Federal de Uberlândia, em foco ao Instituto de Ciências Agrárias, por tudo que eu aprendi acadêmica e profissionalmente.

Agradeço ao Professor Sandro Hurtado pela oportunidade de executar esse trabalho, pelo suporte técnico e apoio.

SUMÁRIO

RESUMO 1

INTRODUÇÃO.....2

MATERIAIS E MÉTODOS 4

RESULTADOS.....6

DISCUSSÕES.....10

CONCLUSÕES 11

REFERENCIAS 11

RESUMO

No ano de 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definindo a Agricultura de Precisão como um método de gerenciamento agrícola fundamentado na variação espacial e temporal da unidade produtiva, objetivando o retorno econômico, sustentabilidade, e a redução de seus efeitos ao ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar de forma espacializada a resistência à penetração do solo visando diminuir seus efeitos na produção de soja. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Capim Branco (18° 53' S e 48° 20' W) localizada no município de Uberlândia-MG, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O talhão para avaliação possui 25 hectares, relevo ondulado e solo tipo Latossolo Vermelho, e vem sendo cultivado com soja em sequência ao milho ou sorgo em sistema plantio direto sob sequeiro. A avaliação da resistência à penetração do solo foi feita mediante uso de penetrômetro de impacto em 50 pontos amostrais georreferenciados, na profundidade de 0 a 0,40 m, em cada ponto foram realizadas 3 medições. As avaliações foram realizadas em duas datas, a primeira na implantação da soja (15/nov/2017) e a segunda após a colheita da cultura (14/abr/2018), representando pontos de chuva e estiagem. Verificou-se assim, que os pontos com os maiores valores de RP foi onde se obteve menores índices de produtividade, verificando-se correlações negativas com os dados de menor produtividade da soja. Assim, áreas com solos compactados apresentam menor produtividade de soja.

Palavras Chave: *Glycine max (L.)*; agricultura de precisão; compactação

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem sua origem na costa leste da Ásia, na China (GAZZONI, 2018) e atualmente, o agronegócio do grão representa um produto de importância agrícola mundial. A atualização da agricultura brasileira acarretou consequências sobre o processo produtivo, entre as quais há necessidade de elevar ao máximo o uso dos fatores de produção, ou seja, a eficiência produtiva, obtendo maiores níveis de produtividade e rentabilidade (VIANA; SILVEIRA, 2008). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, na década de 60, o Brasil representava pouco mais de 1% da produção mundial de soja. Após cinco décadas houve uma evolução apreciável da participação do Brasil, que em 2011, apareceu como segundo produtor com 28%, à frente da China e atrás somente dos Estados Unidos, com 31% da produção da mundial (EMBRAPA, 2016). Atualmente, a produção brasileira já superou a barreira dos 120 milhões de toneladas, podendo tomar a liderança mundial na produção do grão (CONAB, 2019). O plantio de soja configura-se ainda como o principal produto agrícola da pauta das exportações brasileiras e o maior responsável pelo aumento da colheita nacional de grãos (ESPÍNDOLA; CUNHA, 2015).

Com as novas formas de manejo, pode-se citar a agricultura de precisão (AP) como forma de atuar em lavouras agrícolas e pecuárias em escala espacial menor do que é usualmente utilizada para a lavoura como um todo (PLANT, 2001). A adoção de tecnologias de uso na AP pode afetar diretamente a economia em escala regional e de grande porte (COSTA e GUILHOTO, 2013). Muitos produtores já possuem a AP como uma técnica real na procura da eficiência máxima do gerenciamento da propriedade (WERNER, 2007). Segundo Miler et al. (1999), há três premissas básicas para justificar a introdução da AP; i) que haja uma significativa variabilidade espacial na fazenda em fatores que influenciam a produtividade; ii) que as causas desta variabilidade possam ser identificadas e mensuradas e; iii) que a informação destas medidas possam ser utilizadas para modificar as práticas para aumentar o lucro ou reduzir os impactos ambientais (COSTA; GUILHOTO, 2012).

O uso de tecnologias na AP será essencial para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro e principalmente para alcançar maior rendimento de culturas e reduzir o impacto ambiental (SILVA et al., 2011). A adoção de novas tecnologias desenvolvidas para o monitoramento intensivo do campo busca, entre outras aplicações, gerar a quantidade de informação suficiente para correlacionar dados mais facilmente observados

com outras propriedades de difícil obtenção (DE OLIVEIRA, 2016). Isto envolve a adoção de plataformas multissensor que permitam quantificar com precisão espacial os fatores preponderantes da produção (WHELAN, 1998). A AP é uma tecnologia agrícola sustentável, definida como uma técnica que trata cada componente da produção ou de uma amostragem mínima, em menor escala que a convencional e de forma pontual (MACHADO et al., 2018).

A exemplo, a avaliação da resistência à penetração (RP) apresenta-se como uma técnica quantitativa muito utilizada, devido à facilidade e rapidez de determinação, bem como a possibilidade de realização de um elevado número de amostragens para obtenção de dados confiáveis através da análise da resistência do solo à penetração (ROQUE et al., 2003; SILVEIRA et al., 2010; VOGEL et al., 2017). A RP caracteriza-se como um dos principais indicadores para o diagnóstico e avaliação da compactação do solo. Assim descreve a resistência física que o solo exerce sobre a raiz que tenta se mover através dele, sendo diretamente influenciado pela densidade, porosidade e, principalmente, pela umidade do solo no momento da avaliação (MAZURA et al., 2013).

Lima et al., (2013), afirmaram que na prática, a RP permite identificar as camadas que comprometem o crescimento do sistema radicular das plantas. O monitoramento recorrente do estado de compactação do solo por meio da resistência à penetração é uma forma prática de ponderar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo (TAVARES FILHO; RIBON, 2007). Os penetrômetros são instrumentos que medem a resistência à penetração em unidades de pressão (força/área) de um cone padrão posicionado na extremidade de uma haste de metal, quando inseridos no interior do solo (ASAE, 1994). Stolf (1991), afirma que os penetrômetros classificam-se em função do seu princípio de penetração. Entre eles, o penetrômetro de impacto tem sido amplamente utilizado no campo para caracterizar a compactação provocada pelo uso e manejo do solo (TORMENA; ROLOFF, 1996; CASAGRANDE, 2001). O monitoramento recorrente do estado de compactação do solo por meio da resistência à penetração é uma forma prática de ponderar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo (TAVARES FILHO; RIBON, 2007). Partindo deste princípio, este trabalho teve como objetivo avaliar, de forma espacializada, a resistência à penetração do solo e os efeitos sobre a produção de soja.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na fazenda Capim Branco (18°53' S e 48°20' W) no município de Uberlândia, Minas Gerais, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. O solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). A área possui relevo suave ondulado e o clima tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen. O talhão para avaliação possui 25 hectares. É cultivado em sistema plantio direto desde 2012. Para a safra 2017-18 foi realizado o plantio de soja, sob sequeiro.

Amostragem de RP:

Os pontos de coleta de dados foram definidos e georreferenciados com auxílio do programa Qgis, e combinados ao GPS Garmin E-Trex Vista®, o qual auxiliou na localização dos pontos a campo. Os dados foram coletados, na profundidade de 0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4m, seguindo uma grade amostral densa e sistematicamente aleatorizada de 2 pontos por hectare, totalizando 50 pontos. Foram coletadas 3 subamostras em cada ponto (Figura 1).

Figura 1 – Área de estudo, com a localização dos 50 pontos georreferenciados.



Fonte: Google Earth, 2019

As coletas foram realizadas em duas datas, a primeira, no dia 15 de novembro 2017, após a implantação da cultura da soja, e a segunda no dia 14 de abril de 2018, após a colheita da soja, com presença do sorgo em sucessão.

A avaliação da RP do solo foi mediante uso de penetrômetros de impacto da marca Stolf. Neste tipo de penetrômetro um peso de 4 kgf é desprendido de uma altura de 0,40 m e ao colidir com o fixador da haste graduada o sistema, através da ponteira cônica, penetra no solo a uma profundidade do estado inicial. A penetração por impacto é lida na haste graduada do penetrômetro, e os resultados são obtidos a partir de impactos necessários para atingir certa profundidade (impactos/dm).

Com a leitura desses dados obtiveram-se as médias para as camadas de 0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m, sendo realizados os cálculos para determinar a resistência de cada camada do solo. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto), em resistência à penetração, foi obtida a partir de Stolf (1991),

$$RP = \frac{X \cdot \frac{M}{(M+m)} \cdot g \cdot h}{(a \cdot \Delta x) \cdot \frac{M}{(M+m)} + \left(\frac{M+m}{a}\right) \cdot g} / 1000000$$

Em que,

RP - resistência à penetração, MPa
M - massa do êmbolo (3,880 kg)
m - massa do aparelho sem êmbolo (3,441 kg)
h - altura de queda do êmbolo (0,4 m)
X - médias da quantidade de impactos
A - área do cone, 0,0001131m²
g - aceleração da gravidade, 9,81 m.s⁻²
Δx - agrupamento, 0,10 m

Análise de produtividade

Para a produtividade foram coletadas amostras nos mesmos 50 pontos, em parcelas de quatro linhas (0,50 m espaçamento entrelinha) e dois metros de comprimento, totalizando 4 m². O método usado para colheita da soja foi o arranquio manual. Em seguida as plantas foram encaminhadas para trilhagem, e os grãos obtidos levados para o Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia (LASEM-UFU) para obtenção do peso, teor de umidade e estimativa de produtividade. Os valores obtidos de umidade foram distintos para cada amostra colhida, assim, foi uniformizado o teor a 13% de umidade para correlacionar as diferentes produtividades seguindo a fórmula:

$$PF = \frac{PI(100-U)}{100-UF}$$

Em que,

PF= Peso final corrigido a 13% de umidade

PI= Peso inicial na umidade real

UI= Umidade inicial (real do grão)

UF: Umidade Final (13%)

Análise de dados

A análise estatística exploratória foi realizada para os atributos produtividade e RP do solo, para cálculo de mínimo, máximo, média, mediana, coeficiente de variação, assimetria e curtose, a partir do uso do programa Microsoft Excel®. O programa GS+® foi utilizado para a análise geoestatística, que permite analisar dados georreferenciados. O programa permite a análise do semivariograma e a interpolação por krigagem para posterior geração de mapas dos atributos avaliados. A análise de correlação dos dados, foi realizada com o programa Statistica 7.0.

RESULTADOS

A escolha da data de coleta de dados foi mediante época de chuva e seca de acordo com a Figura 2. Os dados (Tabela 1) permitem observar que a média de força aplicada na camada superficial da área foi de 3,28 MPa e 3,49 MPa para novembro de 2017 e abril de 2018, respectivamente. Na camada subsuperficial de 3,61 MPa e 3,60 MPa, o que indica que apesar dos índices serem próximos, a produtividade pode se comportar de forma diferente. Os níveis decisivos de resistência mecânica do solo, para o crescimento radicular das plantas, variam com o tipo de solo e a espécie cultivada (MARTINS et al. 2009). O valor de RP recomendado como crítico para o desenvolvimento radicular normal da maioria das culturas agrícolas é 2,0 MPa (TORMENA et al. 1998). Assim, aconselha-se sua estimativa quando o teor de água do solo estiver perto ao valor da capacidade de campo. Porém, quando obtida no momento em que a umidade do solo aproxima-se de 2/3 da microporosidade (solo friável/macio) (REICHER et al. 2007; ROSA FILHO 2008), a maioria dos trabalhos tem adotado a seguinte classificação de resistência à penetração (RP), estabelecida por Arshad et al. (1996): a) extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; b) muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; c)

baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; d) moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; e) alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; f) muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e g) extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

Figura 2 – Dados da precipitação pluviométrica de novembro de 2017 a abril de 2018.

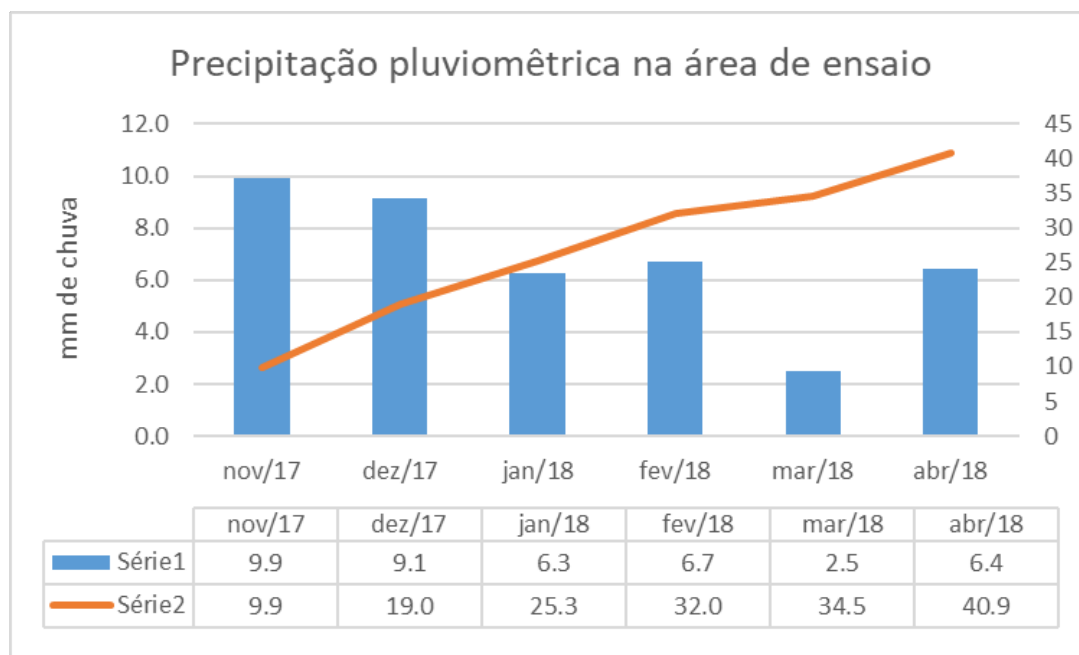


Tabela 1 - Análise descritiva de atributos de resistência à penetração do solo e produtividade de soja.

	<i>RP (Mpa)_Nov17</i>		<i>RP (Mpa)_Abr18</i>		<i>Produtividade (kg/ha)</i>
	<i>0-0,2 m</i>	<i>0,2-0,4 m</i>	<i>0-0,2 m</i>	<i>0,2-0,4 m</i>	
<i>Mínimo</i>	2,51	2,33	2,42	2,06	2892
<i>Máximo</i>	4,46	5,18	5,27	5,03	5710
<i>Media</i>	3,28	3,61	3,49	3,60	4506
<i>Mediana</i>	3,22	3,44	3,37	3,55	4439
<i>CV (%)</i>	0,14	0,17	0,20	0,15	0.10
<i>Assimetria</i>	0,67	0,51	0,60	-0,04	-0.15
<i>Curtose</i>	0,12	-0,05	-0,42	0,45	2.71

As medidas de assimetria e curtose concluem a posição e dispersão, no sentido de adequar uma descrição e compreensão mais completa das distribuições de frequências. Diante da intensidade de ter dado valores menores que 0,6 e 0,5, como observado em ambas as datas para RP, observa-se uma simetria, e junto aos valores de curtose menores

que 3, indica que a curva será platicúrtica (Tabela 1). Os dados observados mostraram CV de 14,13 e 19,39 na primeira data, e de 19,97 e 15,06 e na segunda data, para 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. o que indica média dispersão.

A produtividade máxima observada foi de 5709 kg/ha e a mínima de 2892 kg/há, com média de produtividade de 4506 kg/ha. Quanto a resistência à penetração, na primeira avaliação (novembro de 2017), na profundidade de 0-0,2 m, a compactação máxima observada foi de 4,47 MPa e a mínima de 2,51 MPa, com média de 3,28 MPa. Para a profundidade de 0,2-0,4 m a compactação máxima observada foi de 5,18 MPa e mínima de 2,33 MPa com média de 3,61 MPa. Na segunda avaliação (abril de 2018), na profundidade de 0-0,2 m, a compactação máxima observada foi de 5,27 MPa, e a mínima de 2,42 MPa, com média de 3,60 MPa. Ainda na segunda aferição, na profundidade de 0,2-0,4 m, a compactação máxima observada foi de 5,03MPa e a mínima de 2,06, com média de 3,60 MPa classificando-o como de moderada compactação de acordo com Mazura,2013.

A Figura 3 apresenta a produtividade de soja para a safra 2017/2018. Quando comparado aos mapas de RP para as profundidades 0-0,2 m (Figura 4 e 5), percebe-se que nos locais onde se obteve os índices de maior compactação do solo, a produtividade apresentou menores taxas. A correlação foi de 40 e 33% entre resistência a penetração e produtividade, apresentando significância para RP.

Figura 3. Mapa de produtividade de soja, safra 2017/18.

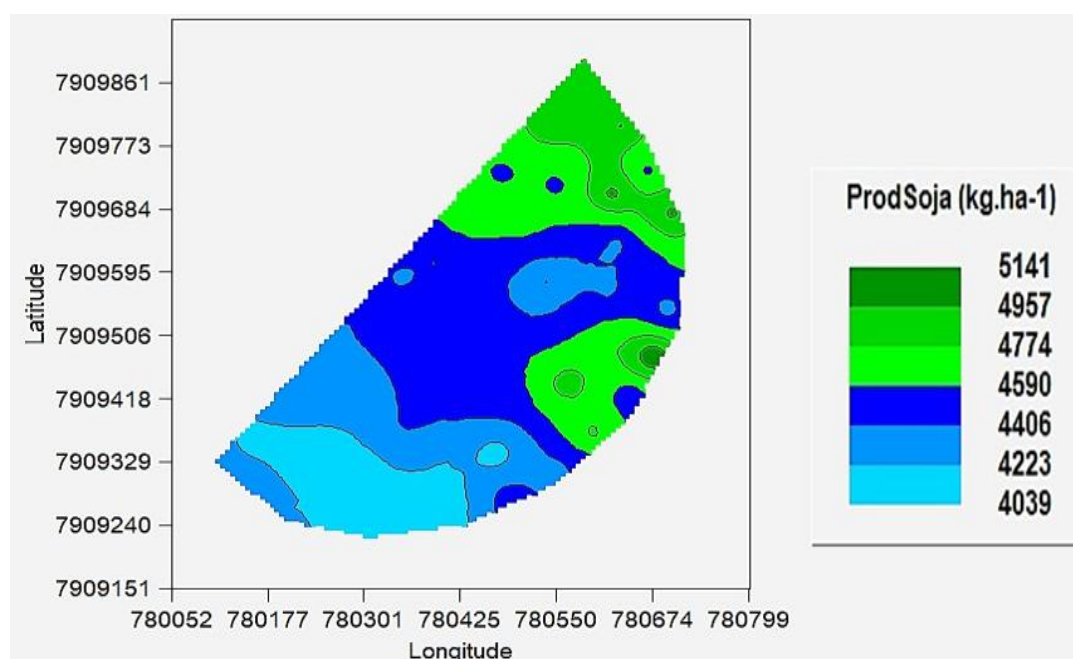


Figura 4. RP 0-0,20 m (nov2017)

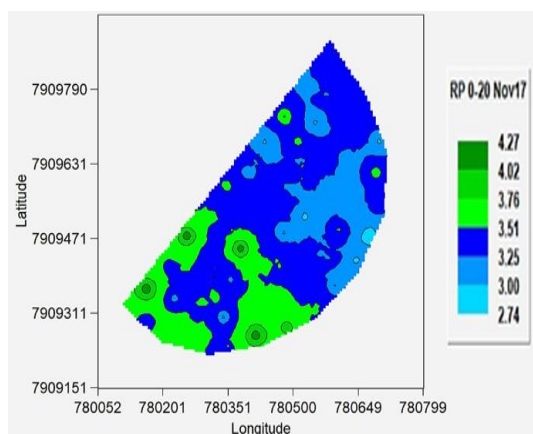
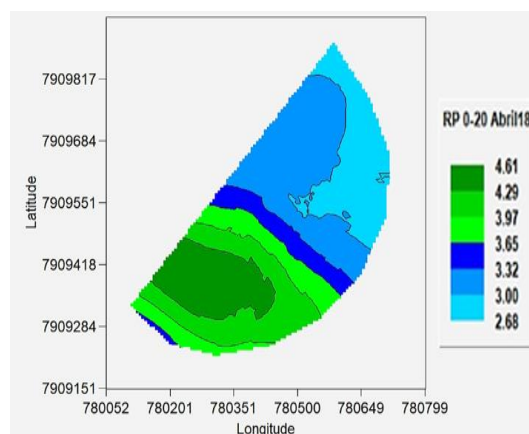


Figura 5. RP 0-0,20 m (abr2018)



Nas profundidades de 0,20-0,40 m, em ambas as datas, verificou-se que a resistência à penetração se apresenta de forma mais pontual, sendo assim não interferindo significativamente à produtividade da soja (Figura 6 e 7).

Figura 6. RP 0,20-0,40 m (nov2017)

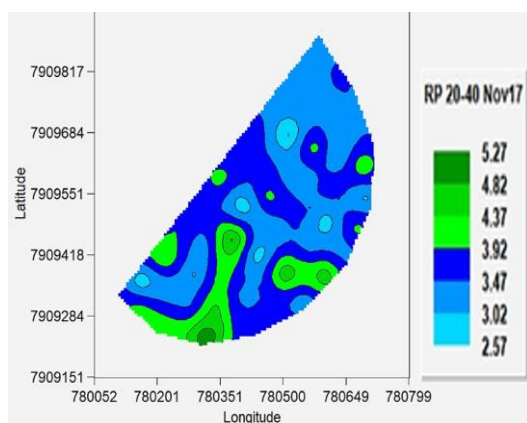
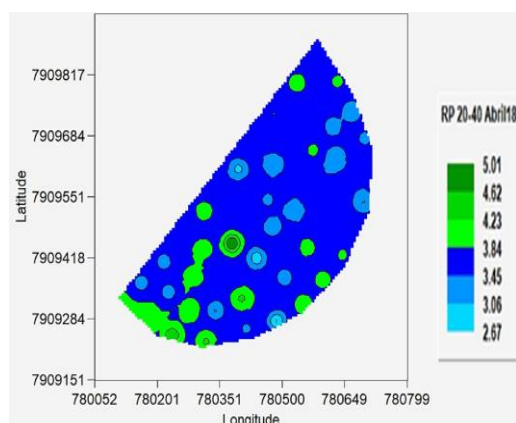


Figura 7: RP 0,20-0,40 m (abr2018)



Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabela 2). Para cada atributo foram obtidos o efeito pepita (Co), o alcance (Ao) e o patamar (Co + C), a variância estrutural (C). O coeficiente de correlação (r) entre tais valores reflete a eficiência do ajuste dado pela técnica da soma dos quadrados dos desvios, representando a equação de regressão linear em questão. As correlações foram inversas, indicando que, com o aumento da RP ocorrerá a diminuição da produtividade de soja.

Tabela 2 - Parâmetros dos semivariogramas para a resistência a penetração e produtividade de soja (safra 17-18).

<i>Data</i>	<i>Profundidade</i>	<i>Modelo</i>	<i>Co</i>	<i>Co+C</i>	<i>Ao</i>	<i>r²</i>
<i>Nov. 2017</i>	<i>0-0,20m</i>	<i>Gaussiano</i>	<i>0,21</i>	<i>0,23</i>	<i>46,60</i>	<i>0,92</i>
	<i>0,20-0,40m</i>	<i>Gaussiano</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,27</i>	<i>62,90</i>	<i>0,91</i>
<i>Abr. 2018</i>	<i>0-0,20m</i>	<i>Gaussiano</i>	<i>0.19</i>	<i>1,40</i>	<i>598,10</i>	<i>0,88</i>
	<i>0,20-0,40m</i>	<i>Gaussiano</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,27</i>	<i>62,90</i>	<i>0,91</i>
<i>Produtividade</i>	<i>-</i>	<i>Gaussiano</i>	<i>0,001</i>	<i>0,39</i>	<i>85.50</i>	<i>0,76</i>

Efeito pepita (Co), patamar (Co + C), C variância estrutural, alcance (Ao), coeficiente de correlação (r).

DISCUSSÕES

A variabilidade de uma característica pode ser qualificada conforme a dimensão do seu coeficiente de variação (FREDDI et al., 2006). Os dados (Tabela 1) indicam que apesar dos valores de RP serem acima do valor crítico para a cultura, a produtividade sofreu interferência apenas quando os índices chegaram em média por volta de 3,51 Mpa o que corrobora com Lipiec e Hatano (2003), observaram que valores de RP variando de 1 a 1,7 MPa começam a restringir o crescimento radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam paralisação do crescimento das raízes.

A resistência à penetração (RP) apresentou-se com média variabilidade em ambas as datas, sendo de 14,13 à 19,97 %, para as profundidades analisadas (Tabela 1). Esses dados acordaram com os de Mercante et al. (2003), Johann et al. (2004) e Freddi et al. (2006), respectivamente, de 15 % obtido num Latossolo Vermelho distroférico, 16 % num Latossolo Bruno distrófico e de 14 % num Latossolo Vermelho distrófico. Entretanto de acordo com Silva et al. (2004) para todas as profundidades analisadas, o coeficiente de variação (CV) da RP variou de 15% a 44% no Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, próximos aos encontrados por Abreu (2000) nesse mesmo tipo de solo. No Latossolo Vermelho distrófico, o CV variou entre 19% a 35% e, no Latossolo Vermelho distroférico típico, o CV variou entre 23% a 40%. Segundo Warrick e Nielson (1980), esses valores de CV são considerados médios para variáveis de solo. Já Faraco et al. (2008) observou os valores da RP, na camada 0,0-0,10 m, variando entre 0,671 MPa e 4,269 MPa, resultados próximos aos obtidos no presente trabalho.

As correlações de RP e produtividade foram inversas, indicando que, com o aumento da RP ocorrerá a diminuição da produtividade de soja (Tabela 2). Conforme Panosso et al. (2008) o alcance (Ao) é um parâmetro importante no estudo do

semivariograma que representa a distância máxima em que pontos da mesma variável estão correlacionados espacialmente e, sendo assim, pode-se verificar que a dependência dos dados (Ao – Tabela 2) se deu em um raio que variou de 46,60 m até 598,10 m. O efeito pepita (Co) de acordo com Cambardella et al. (1994) mostrou forte dependência espacial para RP.

De acordo com Lipiec e Stepniewski (1995), o efeito da compactação, sobre o transporte de nutrientes para a raiz, depende da intensidade da compactação do solo e do suprimento de água e nutrientes. A correlação pode ser corroborada por Beutler et al., (2006), onde a produtividade de soja apresentou queda com o aumento da resistência a penetração do solo.

CONCLUSÃO

As áreas com solos compactados apresentam menor produtividade de soja e pode ser evidenciado na correlação inversamente proporcional entre produtividade e compactação do solo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.S. Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo. 2000. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.
- APEX. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos. As exportações brasileiras e os ciclos de commodities: tendências recentes e perspectivas. In: **Análise Apex-Brasil: conjuntura e estratégias**. Brasília, 2011.
- ARSHAD, M. A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: ASAE. **Agricultural Engineers Yearbook**. St. Joseph, 1976. p.368-369 (ASAE Report, 313.1).
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.22, n.2, p.191-9, 2002.
- BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. v. 9 Safra 2015/2016 - Nono levantamento. Brasília, p. 1-174, junho 2016.

Costa, C. C.; Guilhoto, J. J. M. (2013). Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, 2, 177-204.

COSTA, J. A.; THOMAS, A. L. Potencial de rendimento da soja. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, n. 82, p. 28- 32, 2004.

DE OLIVEIRA, R. P. Apoio à Decisão na Adoção da Agricultura de Precisão: A Tecnologia da Informação em Apoio ao Conhecimento Agrônomo. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 2, n. 1, p. 89-109, jan./jun. 2016.

EMBRAPA, Dados Econômicos - Soja. Disponível em <https://www.EMBRAPA.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>

EMBRAPA. Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas. [Anais...]: passado, presente e futuro. Rio de Janeiro, 2012.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V. & CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Eng. Agríc.* 26:113-121, 2006.

FREITAS, MCM de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera-Centro Científico Conhecer, Goiânia-GO**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011

HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, n.4, p.1320-4, 2002.

JOHANN, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. & ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.* 8:212-219, 2004.

KIIHL, R.A.S; GARCIA, A. **The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars**. In: WORLD SOYBEAN RESERACH CONFERENCE, 4. p. 994-1000, 1989.

LIMA, R. P. de; DE LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. da. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.4, p. 577-581, 2013.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, v.116, p.107- 136, 2003.

LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: **Proceedings of the 5th International Conference of the ASA**, Madison, WI, 2000.

MAZURANA, M. et al. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p. 1185-1195, 2013.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A. & SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1149-1159, 2003.

MILLER, R.O.; PETTYGROVE, S.; DENISON, R.F.; JACKSON, L.; CAHN, M.; PLANT, R.; KEARNY, T. Sitespecific relationships among flag leaf nitrogen, SPAD meter values and grain protein in irrigated wheat. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4. 1999, Madison.

MONAGHAN, J. M.; DACCACHE, A.; VICKERS, L. H.; HESS, M.T.; WEATHERHEAD, E. K.; GROVE, I. G.; KNOX, J. More 'crop per drop': constraints and opportunities for precision irrigation in European agriculture. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 93-5, p. 977-98, 2013.

MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.150-97.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Journal of Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, p. 9-29, 2001.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J. ; La Scala Júnior, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.227-236, 2008.

REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-135.

ROZA, D. Novidade no campo: geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n. 11, jan./fev., 2000.

SILVA, E. A. et al. *Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematoide de cisto da soja*. In. BORÉM, A. et al. (org.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000, p. 409-453

SILVA, J. M. et al. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no Cerrado. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 397-409, mai/ago. 2009.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, Apr. 2004 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000200010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 de Julho de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000200010>

SILVEIRA, D. C. et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.659-667, 2010.

SILVEIRA, M. L. **O Brasil**: território e sociedade no início do século XXI.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

TAVARES FILHO. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostra e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, 2008.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-39, 1996.

TORMENA, C. A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P. Análise econômica e custos de produção aplicados aos sistemas de produção de ovinos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, XLVI, **Anais...** SOBER: Rio Branco, 2008.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). Applications of soil physics. New York: Academic, 1980. p.319-376.

WERNER, Valmir. **Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), UFSM. Santa Maria-RS: UFSM, 2007.

WHELAN, B. M. **Reconciling Continuous Soil Variation and Crop Yield** - a study of some implications of within field variability for site-specific crop management. **PhD Thesis**, University of Sydney, Australia 356 p, 1998.