

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/323668119>

Condutividade elétrica e sua relação com a resistência a penetração do solo visando orientar a escarificação mecânica de sítio-específico em lavoura de soja

Article · March 2018

CITATIONS
0

READS
389

5 authors, including:



William Wagner

Universidade Federal de Santa Maria

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Telmo Jorge Carneiro Amado

Universidade Federal de Santa Maria

261 PUBLICATIONS 3,712 CITATIONS

SEE PROFILE



Luan Pott

Universidade Federal de Santa Maria

22 PUBLICATIONS 41 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Soil Carbon [View project](#)



Biodiversity and Climate Change Vulnerability Assessment in the Eastern Himalayas [View project](#)

Condutividade elétrica e sua relação com a resistência a penetração do solo visando orientar a escarificação mecânica de sítio-específico em lavoura de soja¹

William A. Wagner², Telmo J. C. Amado³,
Luan P. Pott², Tiago de G. Teixeira², Leonardo Kerber⁴

Introdução

Um dos principais desafios das próximas décadas do setor agrícola é o aumento da produção mundial de alimentos visando fazer frente ao incremento da população mundial. Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), a atual população de 7,2 bilhões de pessoas deverá aumentar para 9,6 bilhões até 2050 (ONU, 2013), pressionando o setor agrícola a um desempenho sem precedentes na sua longa história.

Entre as dez principais culturas cultivadas no mundo, a soja distingue-se por ser rica em proteína e ser a principal fonte de óleo vegetal. No Brasil tornou-se a principal cultura econômica, sendo cultivada praticamente em todos os estados brasileiros, ocupando 57,02% da área destinada a produção de grãos no país. Conforme Oliveira (2010), diversos são os fatores que podem influenciar na produtividade da cultura, com destaque a: genética, sensibilidade

ao fotoperíodo e a temperatura do ar, disponibilidade hídrica, acidez e fertilidade do solo. Quanto a estes últimos, existe uma importante interação entre atributos químicos com os físicos e biológicos. Em muitas situações, um solo com satisfatória fertilidade e correção da acidez pode apresentar baixa produtividade de soja em função da ocorrência da compactação (NICOLODI & GIANELLO, 2017) e inferior qualidade biológica. Ainda, de acordo com a severidade da compactação, intervenções biológicas isoladas pode não ser suficiente para reverter o processo (CUBILLA et al. 2002). A compactação do solo, a exemplo de outros atributos de solo, pode apresentar importante variabilidade espacial devido a fatores, tais como: diferente textura do solo, profundidade do horizonte A, cobertura do solo, teor de matéria orgânica, umidade quando do trânsito de máquinas e locais preferenciais de manobras de máquinas.

Em solos compactados, o sistema radicular da soja tem seu crescimento

¹Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

²Stara, Não-Me-Toque/RS

³UFMS - Santa Maria/RS

⁴Cotrijal, Não-Me-Toque/RS

restrito as camadas superficiais (MÜLLER et al. 2001), tornando a planta mais susceptível a estresses hídricos. O engrossamento das raízes em função da compactação, ainda ocasiona uma menor eficiência na absorção de nutrientes como cálcio, potássio e fósforo, além de ao não explorar camadas subsuperficiais deixa de ter acesso a uma fração dos nutrientes móveis (nitrogênio, enxofre e boro) que são deslocados devido a lixiviação. A soja de elevada produtividade pode demandar uma quantidade superior a 300 kg/ha de nitrogênio, que na sua grande maioria é provida pela fixação biológica de N, porém a falta de oxigênio associada a compactação pode comprometer este processo. No Brasil, existe uma tendência de predominância de cultivares de ciclo precoce, fazendo com que a disponibilidade de nutrientes e de água tenha que ser ótima, pois a probabilidade da planta se recuperar de um estresse é restrita. Uma das consequências da compactação é a instabilidade temporal da produtividade, com decréscimo acentuado em anos com limitação hídrica.

A avaliação da compactação de solo pode ser realizada através de vários métodos, que vão desde observações visuais a campo, determinação da resistência à penetração e também métodos mais acurados, porém mais demorados e trabalhosos, tais como: porosidade do solo (macroporos), infiltração de água e desenvolvimento do sistema radicular. Os métodos que envolvem o desenvolvimento da cultura podem fornecer elevada resolução espacial quando se utiliza sensoriamento remoto, porém deve haver cuidado para não confundir o efeito da compactação com sintomas similares causados por deficiências nutricionais, toxicidade por alumínio ou manganês, nematóides, doenças e outros (CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. 2006).

A resistência à penetração (RP) medida por índice de cone, é um método regularmente utilizado para avaliação da compactação do solo. A RP apresenta relações diretas com o desenvolvimento radicular das plan-

tas e em muitas situações é mais eficiente na identificação de estados de compactação quando comparada a outros atributos como a densidade do solo (SILVA et al. 2003). A avaliação da RP é realizada através de equipamentos como penetrômetros e penetrógrafos, que através de uma haste que é introduzida no solo, seja por força humana ou motorizada geram valores de pressão. Os penetrômetros disponíveis no mercado permitem avaliação da compactação do solo até 0,60 m com resolução de unidade centimétrica, além de fornecer o georeferenciamento da leitura. Desta forma, a variabilidade horizontal e vertical da RP pode ser determinada, possibilitando realizar a escarificação sítio-específico com ajuste da profundidade de atuação do escarificador.

Cherubin et al. (2011), no município de Bela Vista das Missões/RS em um teste com diferentes malhas amostrais quadrulares visando a identificação da variabilidade espacial da RP do solo, reportaram a camada próxima a 0,20 m como o pico de maior RP independente da malha amostral utilizada. Ainda, reportaram que a medida que foi reduzido o tamanho da malha amostral, houve maior acurácia na definição de zonas compactadas, sugerindo a malha de 50 x 50 m ou menor.

Quanto ao nível de RP considera-se de 2,0 a 2,5 MPa a faixa crítica que ocasiona redução importante no crescimento radicular (TAYLOR et

Soluções para Curva de Nível e Sistematização a Laser

Sistematização

- Correção de micro relevo
- Rapidez e eficiência c/ precisão

Curva de Nível

- Reduz fadiga do operador
- Longo alcance do laser

Display D2, Receptor LR-410, Transmissor AG-401

SPECTRA

allcomp
geotecnologia e agricultura

Tel. (51) 2102 7100
agricultura@allcomp.com.br | www.allcomp.com.br
Vendas, Locações e Assistência Técnica

al. 1966; TAYLOR, 1971). Conforme observado por Beutler et al. (2006), em um Latossolo Vermelho o decréscimo de produtividade de soja foi na ordem de 32% a partir de uma RP de 2,24 MPa. Em recentes concursos de produtividade de soja, as maiores produtividades foram reportadas com $RP < 1,0$ MPa.

Para a descompactação do solo, os escarificadores vêm sendo cada vez mais utilizados substituindo com grandes vantagens os arados e grades pesadas, especialmente em clima tropical e subtropical onde o preparo ocasiona decréscimo do teor de matéria orgânica e aumenta o risco de erosão. Segundo Macedo et al. (2016), uma escarificação bem conduzida (em velocidade e umidade do solo ideais) traz benefícios econômicos (menor tempo de trabalho, economia de combustível, economia com o tempo de mão-de-obra e menor número de equipamentos a serem adquiridos) em relação a outros equipamentos de preparo do solo.

Entre os sensores de solo utilizados na agricultura de precisão, destaca-se

a Condutividade Elétrica aparente do solo (CEa). Devido sua praticidade e elevada resolução espacial, a CEa tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade do solo existente nos campos de produção (CORWIN & LESCH, 2003). A CEa se relaciona com a textura, umidade do solo, teor de matéria orgânica, acidez, nível de fertilidade e estado de compactação (CORASSA, et al., 2016); (PERALTA & COSTA, 2013). No entanto, sua utilização como parâmetro para definir zonas prioritárias à escarificação mecânica ainda é incipiente no Brasil. Deste modo, o objetivo do estudo foi avaliar a relação de CEa do solo com a RP e ainda analisar a influência da escarificação do solo, em duas condições distintas de RP, sobre a produtividade da soja em uma área manejada sob sistema plantio direto de longa duração.

Material e métodos

O presente estudo foi realizado em uma área agrícola localizada no município de Não-Me-Toque, RS. A área está situada entre as coordenadas $28^{\circ}28'22.9676''S$, $52^{\circ}48'52.8909''O$, com aproximadamente 497 m de altitude. O clima da região conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical úmido (NIMER, 1989), com temperatura média anual de $18,7^{\circ}C$. As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação pluvial média anual de 1.750 mm. O solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico segundo a classificação de solos (EMBRAPA, 2004).

Nesta área foi realizada a avaliação da RP do solo através do sistema automatizado para medição de compactação SoloStar (FALKER) acoplado a um quadriciclo (Figura 1). O equipamento realizou a medição da compactação de 0,05 em 0,05 m até 0,30 m de profundidade. Para a determinação da RP do solo realizou-se a medição no dia 30 de novembro de 2015 em condições ideais de campo (próximo a capacidade de campo).



Figura 1. Conjunto de penetrômetro e quadriciclo utilizado na área experimental. Equipamento cedido pela Cooperativa Cotrijal. Não-Me-Toque, RS.

Tabela 1. Tratamentos e repetições utilizadas no ensaio experimental. Não-Me-Toque, RS.

TRATAMENTOS	NÍVEL DE RP	REPETIÇÃO	MANEJO
T1	Alta	R1	Escarificado
	Alta	R2	Escarificado
	Alta	R3	Escarificado
T2	Alta	R1	Não escarificado
	Alta	R2	Não escarificado
	Alta	R3	Não escarificado
T3	Baixa	R1	Escarificado
	Baixa	R2	Escarificado
	Baixa	R3	Escarificado
T4	Baixa	R1	Não escarificado
	Baixa	R2	Não escarificado
	Baixa	R3	Não escarificado

Os pontos de medição foram definidos através do programa computacional Trackmaker, seguindo a malha amostral de 50 x 50 m com 3 subamostras em torno do ponto central. Ao total foram realizadas 99 leituras de RP na área experimental.

Após a realização das leituras, extraíram-se os dados do controlador Fieldbox, que foram trabalhados no programa AgLeader SMS Advanced para a obtenção dos valores de RP, com posterior interpolação dos dados visando sua representação espacial. Após esta etapa, foram selecionadas duas regiões na área experimental de acordo com os valores de RP propo-

tos por Beutler et al. (2006). Dessa forma, o local considerado como alta RP encontrava-se em uma zona com RP média de 2,43 MPa contendo pontos que variavam de 2,13 a 2,73 Mpa. Já, a zona classificada como baixa RP apresentava RP média de 1,71 MPa, com valores variando de 1,54 a 1,88 MPa. O delineamento experimental foi um bifatorial com três repetições. O fator A foi dois níveis de RP (média e baixa) e o fator B presença ou ausência de escarificação mecânica antecedendo a cultura da soja (Tabela 1). As parcelas apresentavam dimensões de L: 20m x C: 40m. O total da área experimental foi de 8,3 ha.

Fonte: www.stara.com.br



Figura 2. Equipamento Veris CE utilizado para determinação da condutividade elétrica aparente.

Fonte: Banco de imagens Stara.



Figura 3. Escarificador Fox utilizado na área experimental.

No dia 15/12/15 realizou-se a leitura da Condutividade Elétrica Aparente (CEa) do solo, a fim de relacionar esse índice com o índice de RP do solo. Avaliou-se a CEa com o sensor Veris CE (Figura 2) cedido pela Stara Indústria de Implementos Agrícolas. A leitura foi realizada nas profundidades de 0–0,30 m (rasa) e 0–0,90 m (profunda). O equipamento Veris CE realiza uma leitura por segundo. Para este trabalho utilizou-se a largura aproximada de 15 metros entre faixas, resultando em uma média de leitura de 220 pontos por hectare, que totalizaram aproximadamente 1.285 leituras de CEa na área experimental.

Para o manejo de descompactação do solo utilizou-se um escarificador modelo Fox (Figura 3) com 09 hastes desencontradas também da fabricante Stara Indústria de Implementos Agrícolas, o qual foi projetado para trabalhar em área manejada sob SPD. O escarificador operou com uma distância entre hastes de 0,30 m e uma profundidade de trabalho de 0,27 m. Na parte frontal do escarificador, existem discos de corte de diâmetro 400 mm posicionados

na frente das hastes, visando o corte de resíduos vegetais existentes na superfície do solo.

Realizou-se a escarificação mecânica no dia antecedente a semeadura da cultura da soja. A cultivar foi a Syngenta SYN1157RR® com grupo de maturação 5.9 e ciclo indeterminado. Esta cultivar possui características de resistência ao acamamento e ciclo médio de 120 a 126 dias. Realizou-se a semeadura no dia 17/12/2015 com espaçamento de 0,50 m entre linhas e a densidade de semeadura foi de 11 sementes/metro, objetivando uma população de 220.000 plantas/hectare.

Os tratos culturais realizados durante a condução do ensaio foram todos feitos dentro do prazo e intervalo ideais, desde a dessecação prévia até tratamentos com inseticidas e fungicidas.

A colheita foi realizada manualmente em cada parcela no dia 13 de abril de 2016, quando os grãos apresentavam umidade relativa ao redor de 14 %. Em cada parcela, foram colhidos 5 metros lineares nas duas linhas centrais. Dentre essas plantas

selecionaram-se 25 representativas para avaliações de componentes de rendimento.

Analisaram-se os dados através da análise de variância (ANOVA) usando o software estatístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2016, University Edition, SAS Institute, Inc., Cary, NC). Testou-se a normalidade dos dados usando o procedimento UNIVARIATE do SAS. Testaram-se os fatores usando o procedimento GLIMMIX do SAS. No modelo da ANOVA, o fator compactação do solo e a escarificação do solo foram considerados como efeitos fixos já as repetições como efeito randômico. Para os fatores considerados significativos ($P \leq 0,05$), as diferenças entre as médias foram comparadas entre si pelo teste de média com ajuste de Tukey ($\alpha = 0,05$) usando a indicação SLICE e/ou LSMENS do SAS.

Resultados e discussão

Precipitação

A precipitação pluviométrica (mm) durante a realização do ensaio totalizou 923 mm, volume próximo a média normal. Quanto a distribuição da precipitação observou-se que logo após a escarificação e semeadura ocorreram duas precipitações que totalizaram aproximadamente 90 mm, posteriormente 24 dias após a semeadura ocorreu um período de 15 dias de ausência de precipitação. Após esse período ocorreu uma distribuição satisfatória das chuvas até o final do desenvolvimento da cultura (Figura 4).

Resistência a penetração do solo

A RP foi representada espacialmente, em seis camadas compreendidas entre 0 a 0,30 m. Como esperado, observou-se importante variabilidade espacial horizontal da RP, fato que suporta o manejo sítio específico (Figura 5). No entanto, também registrou-se variabilidade espacial vertical em função da transmissão de cargas. Entre

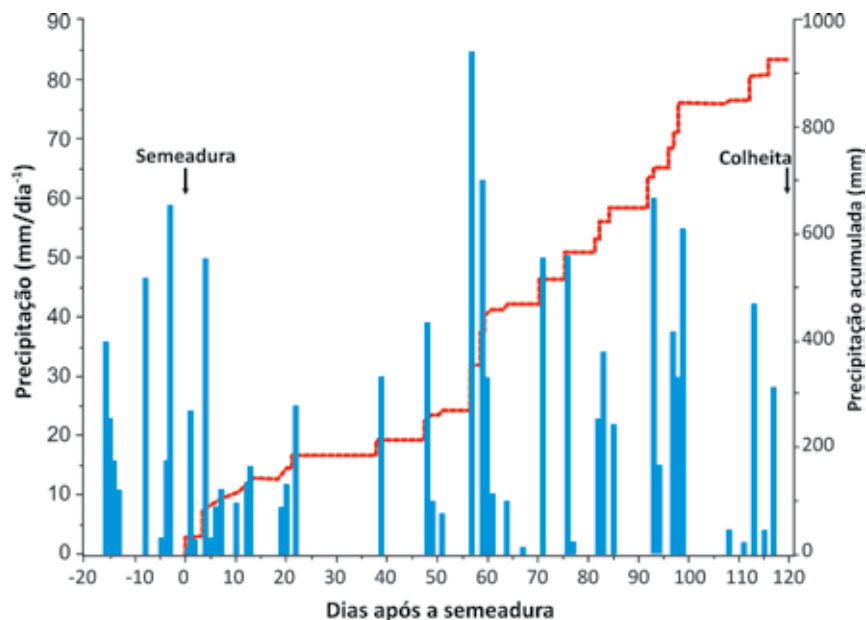


Figura 4. Distribuição da precipitação durante o período experimental. Não-Me-Toque, RS.

os fatores que podem estar associados a este fato destacam-se a mudança textural, diferença na quantidade de resíduos na superfície, teor de matéria orgânica, estrutura do solo e umidade quando do trânsito das máquinas. A área agrícola apresentou a oeste nas camadas de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m uma baixa RP, enquanto que a leste nestas mesmas camadas havia uma maior RP. Já para as camadas de 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m e 0,20-0,25 m houve uma inversão sendo que a oeste havia uma concentração de maiores valores de RP e a leste uma de menor (Figura 5). Assim, na região oeste observou-se que as cargas submetidas ao solo alcançaram camadas mais profundas, enquanto a leste o incremento da RP foi restrito as camadas mais superficiais.

Condutividade elétrica aparente do Solo

A CEa apresenta duas leituras uma classificada como rasa (0-0,30 m) e outra profunda (0-0,90 m) (Figura 6). Sudduth et al. (2005) descreveram que a relação da CEa determinada pelo equipamento VERIS CE não é linear com a profundidade (Figura 7), seguindo modelo de Wenner. Assim, os eletrodos que captam a leitura rasa tem 90% da sua resposta proveniente da camada de 0-0,30 m. Já os eletrodos que captam a leitura mais profunda podem ser úteis para determinar incremento de argila em profundidade e a qualidade química das camadas subsuperficiais.

A CEa é uma medida indireta que se relaciona com importantes atributos físicos e químicos de solo, que por sua vez influenciam o desenvolvimento vegetal e a produtividade das culturas. Entre outros atributos, a CEa se relaciona com a textura do solo, capacidade de troca de cátions, armazenamento de água, teor de matéria orgânica, porosidade, salinidade, atributos da acidez e características de subsolo. Sudduth et al. (2005) investigando doze lavouras distribuídas em seis estados americanos reportaram relação da CEa com o teor de argila

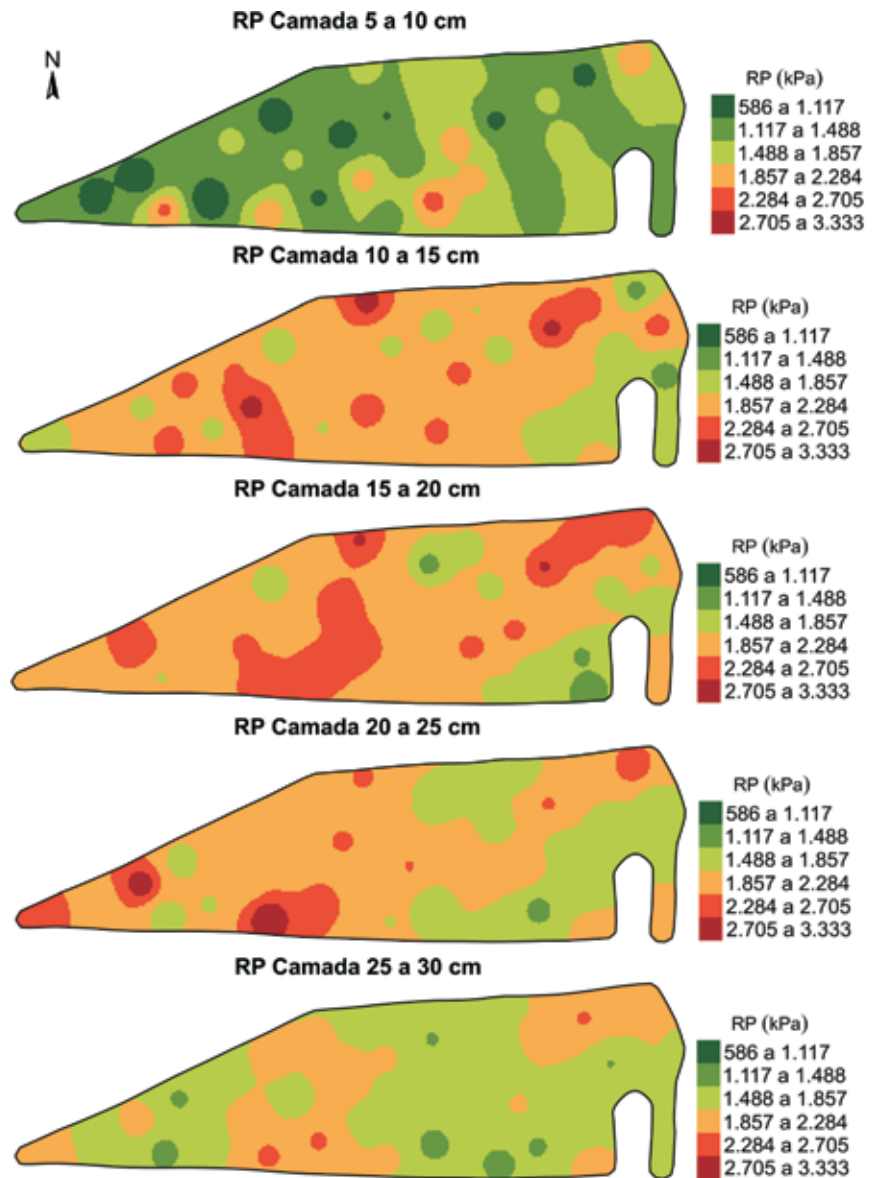


Figura 5. Resistência a penetração avaliada pelo equipamento SoloStar em seis camadas de solo. Não-Me-Toque, RS.

($r^2 \geq 0,55$) e com a CTC. McBride et al. (1990) reportaram a relação da CEa com os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} e, portanto, com a saturação de bases. No entanto, ressaltaram que a relação com estes atributos foi forte para alguns tipos de solo e menor para outros. Fato, que ressalta a importância de estudos regionais com a CEa e os tipos de solo predominantes. Sudduth et al. (1995) reportaram que a CEa se relaciona com a água armazenada no solo, destacando que este atributo

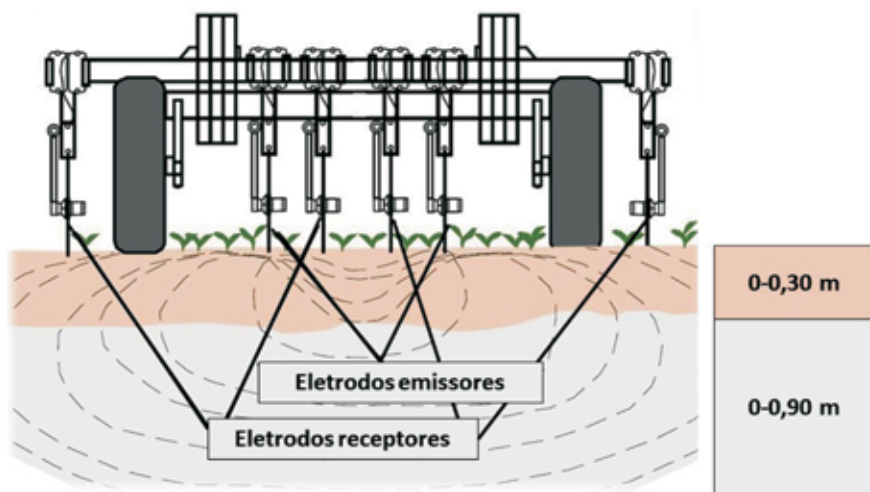


Figura 6. Princípio de operação para o sensor de contato tipo CEa. Discos atuam como eletrodos transmissores e outros como receptores. Fonte: Veris Technologies, Salina, Kansas.

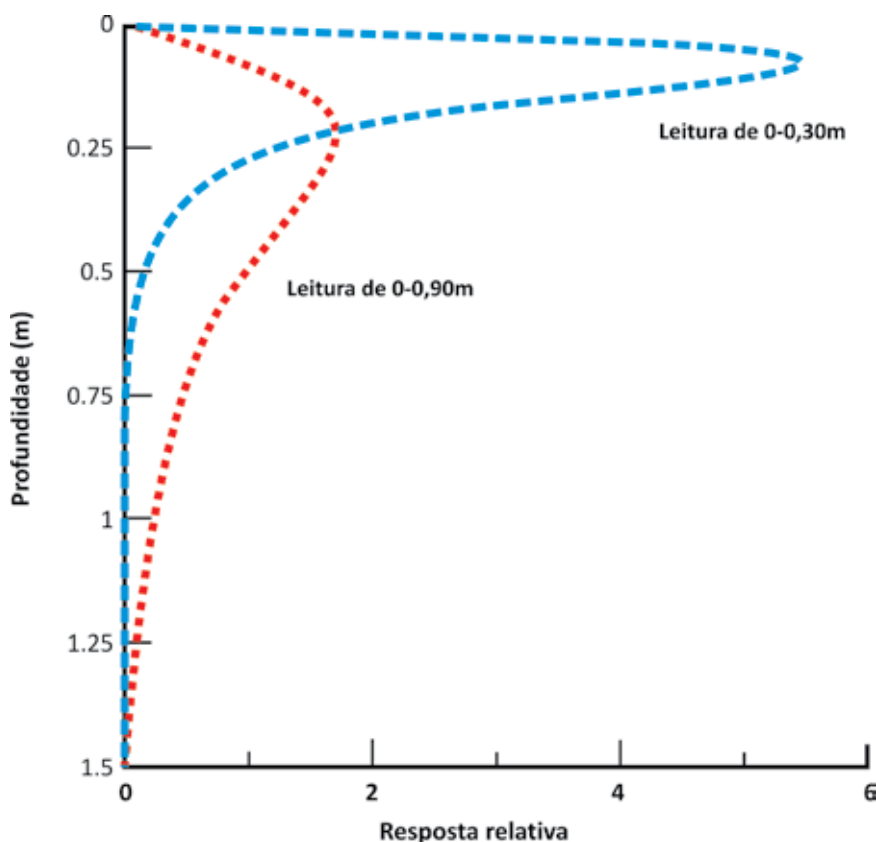


Figura 7. Resposta da CEa determinada pelo VERIS CE em função da profundidade do solo investigada. Fonte: Adaptado Sudduth et al. (2003).

tem relação estreita com a produtividade das culturas. No entanto, esta relação foi variável com a posição no relevo e com as condições climáticas (regime de precipitação). Geralmente, a CEa apresenta maiores valores em solos argilosos (Figura 8), com saturação de bases elevadas e com maior umidade. Sudduth et al. (2005) reportaram relação entre a CEa e em solos argilosos ($r^2 \geq 0,55$). No entanto, nem sempre maiores valores CEa favorecem o desenvolvimento vegetal, pois solos com maior compactação também podem apresentar maiores valores de CEa.

Neste estudo, a CEa apresentou maior variabilidade espacial horizontal do que variabilidade vertical (Figura 9). O resultado de certa forma era esperado, uma vez que o solo investigado é um Latossolo, que apresenta pequena distinção entre horizontes, com ligeiro incremento de argila em profundidade, sem presença de pedregosidade e com aplicação de insumos (corretivos) na superfície do solo ou próxima a esta (fertilizantes). Sudduth et al. (2005) reportaram, para os solos americanos investigados, uma elevada relação entre CEa rasa e profunda ($r=0,92$). Porém, para solos com um grande incremento de argila em profundidade as leituras de CEa rasa e profunda apresentaram menor relação. Anteriormente, Peralta et al. (2011) reportaram que a CEa da camada mais profunda é menos influenciada por ações antrópicas como adições de fertilizantes e corretivos.

Neste estudo, na região a oeste observou-se maiores valores de CEa, enquanto na região centro-leste houve uma predominância de menores valores. Corassa et al. (2016), em Latossolo do Rio Grande do Sul próximo ao local de estudo, reportaram elevada relação entre a CEa e o teor de Ca^{+2} e com a saturação de bases. Carmo et al. (2014), em doze solos de Minas Gerais, reportaram elevada relação da CEa determinada em banda com o teor de Ca^{+2} . A presença de ions na solução do solo favorece a transmissão da corrente elétrica. Frie-

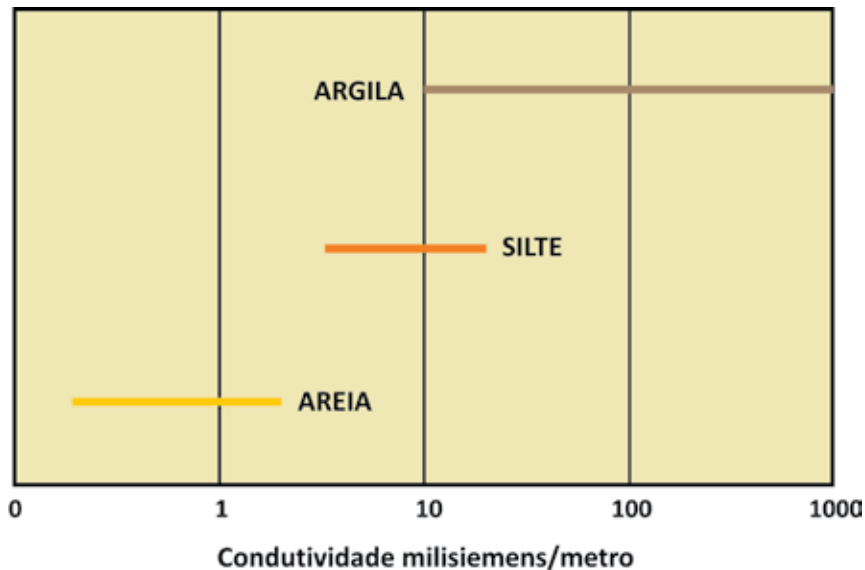


Figura 8. Condutividade Elétrica e sua relação com a textura do solo. Fonte: Adaptado Veris Technologies 2003.

dman (2005) destacou que fatores que afetam a relação do espaço poroso (ocupado por ar e água) e a fração mineral influenciam a CEa. Assim, alterações na porosidade, conteúdo de água e estrutura, como as que ocorrem quando o solo está compactado, afetam as leituras de CEa. A solução do solo é a única fase que conduz a corrente elétrica no solo. A umidade é outro fator determinante, neste caso um solo com distribuição de poros que favoreçam a infiltração e o armazenamento de água favorecem a CEa. Porém, a relação da CEa com atributos de solo é complexa e, portanto, deve ser estabelecida com cuidado. Portanto, o desafio é transformar esta leitura física em um significado agrônomo.

Relação da condutividade elétrica aparente e a resistência a penetração do solo

A relação da CEa do solo com a resistência a penetração foi avaliada por camadas de solo (Tabela 2). Observou-se que houve relação significativa ($p < 0,01$) entre estes atributos

em todas as camadas de solo investigadas. Porém, os maiores valores de coeficientes de relação foram observados nas camadas de 0-0,05m e de 0,20-0,25m. A camada de 0-0,05 m é influenciada pelas atividades de semeadura, fertilização, desenvolvimento radicular e atividade biológica. Já, a camada de 0,20-0,25 cm

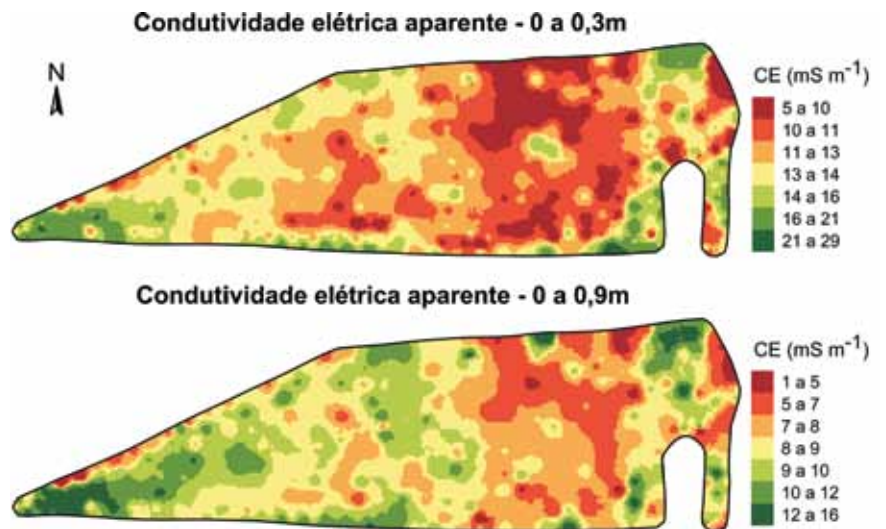


Figura 9. Condutividade elétrica aparente determinada pelo equipamento VERIS CE em duas camadas de solo. Não-Me-Toque, RS.

pode acumular a pressão transmitidas por camadas superiores sujeitas ao trânsito de máquinas agrícolas. Interessante reportar que neste estudo a relação foi negativa nas camadas superficiais (0-0,05 m e 0,05-0,10 m) e positiva nas camadas subsuperficiais

(0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m). A relação negativa na camada superficial pode estar associada ao maior teor de matéria orgânica e a atividade biológica nesta camada. Doran & Parkin (1996) em uma revisão apresentada por Corwin & Lesch (2005) correlacionando CEa com um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos reportaram correlação positiva com o teor de argila e com o pH e negativa com matéria orgânica e biomassa microbiana.

A camada de 0,20 a 0,25 m apresentou uma relação positiva de 0,30 com a CEa rasa e 0,33 com a CEa profunda (Tabela 2). Conforme apresentado na Figura 10, tanto a CEa rasa como a profunda são influenciadas por esta camada, justificando a relação semelhante. Destaca-se que a leitura profunda apresentou relação superior nas camadas de 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson da resistência a penetração do solo em diferentes camadas e a condutividade elétrica aparente (CEa) do solo usando os valores preditos para um grid de 10 x 10 m através da análise de krigagem ordinária. Não Me Toque, RS.

Camada do solo (m)	Condutividade elétrica aparente do solo	
	0,0 a 30 cm	0,0 a 90 cm
0,00 - 0,05	-0,31 ***	-0,39 ***
0,05 - 0,10	-0,12 ***	-0,14 ***
0,10 - 0,15	0,16 ***	0,28 ***
0,15 - 0,20	0,16 ***	0,28 ***
0,20 - 0,25	0,30 ***	0,33 ***
0,25 - 0,30	0,16 ***	0,15 ***

*** Significância ao nível $p < 0,01$.

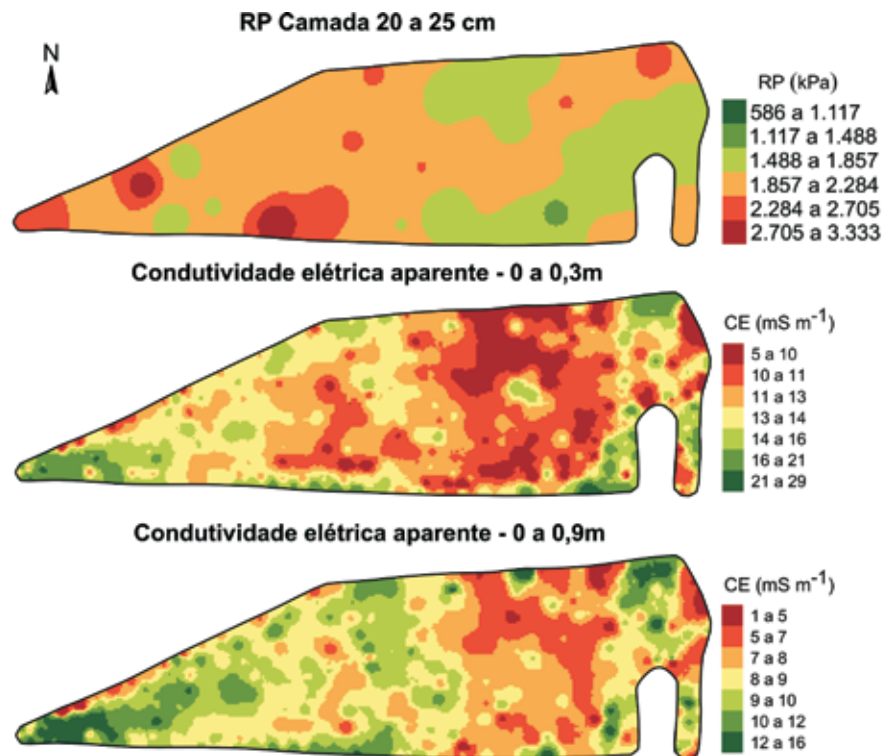


Figura 10. Comparação entre os mapas de condutividade elétrica (leitura rasa e profunda) e a resistência a penetração na camada de 0,20-0,25 m. Não Me Toque, RS.

do que a rasa. Este resultado pode sugerir que a leitura profunda seria a mais indicada para diagnosticar a compactação do solo. A camada de 0,20-0,25 m é importante para o aproveitamento de água armazenada no solo, e que em solos compactados geralmente apresentam restrição ao desenvolvimento radicular. Além disso, é a camada de atuação dos escarificadores. Neste estudo, em que a RP na maior parte da área experimental era inferior ao limite de RP crítico (<2,0 MPa) houve para as camadas subsuperficiais (< 0,10 m) uma relação positiva entre a CEa e a RP. Com isso, foi possível distinguir a leste do mapa uma região uma zona em que a CEa foi mais elevada e a RP foi superior ao valor crítico, e que seria prioritária para uma escarificação de sítio-específico (Figura 10). Os resultados da relação entre a CEa e a RP suportam que a CEa seja utilizada como um mapa de elevada resolução espacial e possa orientar as leituras de

RP de forma dirigida, afim de caracterizar os diferentes ambientes existentes no talhão.

Produtividade da Soja e componentes de rendimento em função da escarificação em dois ambientes (baixa e média resistência a penetração)

População de plantas por hectare

A análise de variância quanto a população de plantas de soja (Syngenta SYN1157RR®) apresentou significância para o efeito dos fatores isoladamente, não havendo interação entre eles. Na Figura 11 observou-se que na média dos tratamentos investigados a zona de baixa RP do solo, independente da realização da escarificação, apresentou uma população

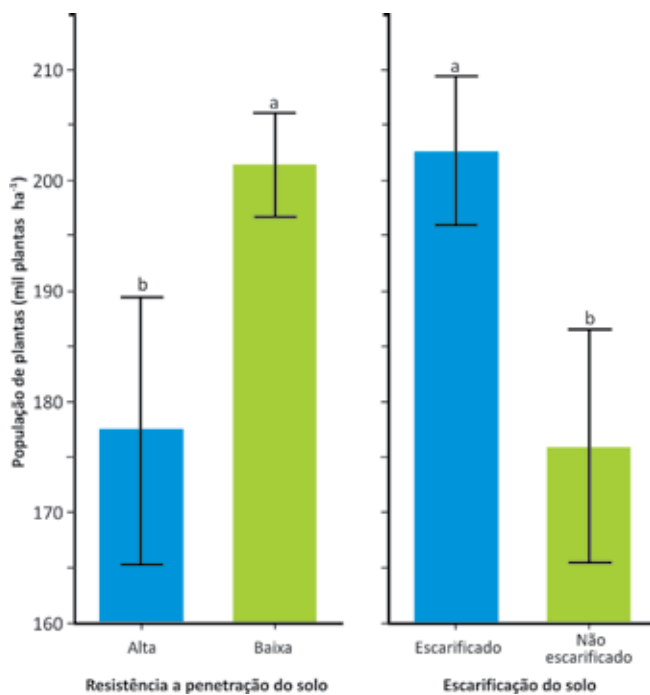


Figura 11. População de plantas de soja da cultivar Syngenta SYN1157RR® em duas zonas de resistência a penetração e com e sem escarificação mecânica do solo. Não-Me-Toque, RS.

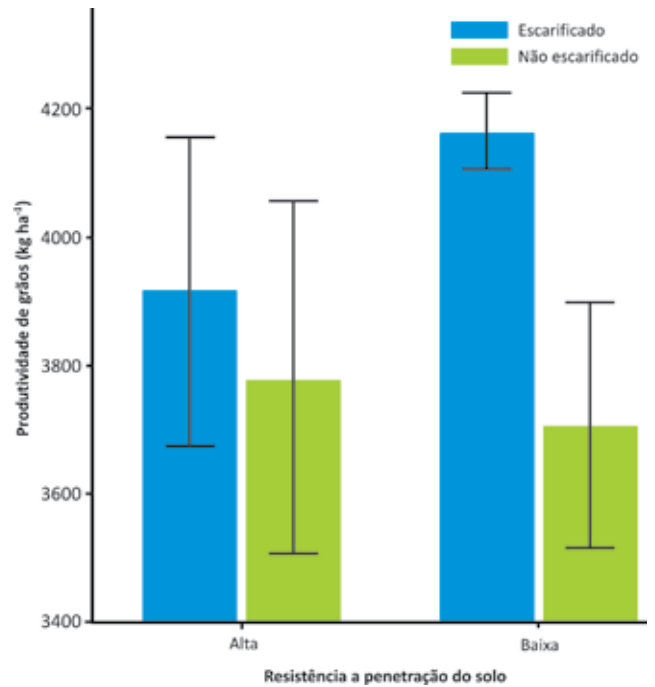


Figura 12. Produtividade de soja em duas zonas de resistência a penetração influenciadas pela escarificação mecânica do solo. Não-Me-Toque, RS.

de plantas de soja superior (15%) em relação a da zona de média RP. Ainda, o efeito da escarificação, independente da zona de RP investigada, proporcionou uma maior população (17%) em relação ao tratamento sem a escarificação. Estes resultados provavelmente estão associados a maior umidade do solo que favoreceu uma maior emergência de sementes. Além disto, em um trabalho de escarificação no inverno com cultura do trigo e semeadura de milho na sequência, na fazenda Santo Antônio de Irmãos Machiaveli em Cruz Alta (RS) foi observado que para a mesma quantidade de sementes de milho utilizadas a área escarificada apresentou 2.000 plantas ha a mais, com reduções de 25% no CV, 50% de plantas dominadas, 75% de duplas e 77% de falhas em relação a não escarificada. Os resultados foram atribuídos a um menor e mais uniforme resistência a penetração na área escarificada-possibilitando uma semeadura em profundidade mais uniforme (Comunicação Pessoal em 01/02/2018 – Eng Agrôn. Marcel

Petry, da Pioneer). Observando-se o regime de precipitação durante o período experimental constatou-se que houve um déficit hídrico durante três semanas após a semeadura (Figura 4), fato que pode ter contribuído para o efeito tanto do escarificador quanto da zona de menor RP sobre a armazenagem de água no solo e a população de plantas.

Produtividade de soja

Em uma lavoura em que a RP na maior parte da área não era restritiva ao desenvolvimento radicular e sob condições climáticas de um satisfatório volume de precipitação durante o ciclo da cultura (923 mm) (Figura 4) houve limitada resposta a escarificação mecânica. Assim, observou-se um incremento médio na produtividade de soja de 7,7%, independente da zona de RP, quando da escarificação em relação a ausência desta intervenção. Este resultado está de acordo com o incremento da população de plantas neste mesmo tratamento (Figura 11). O efeito da escarificação é o de reduzir mesmo que temporariamente a RP, fato que contribui para o incremento da infiltração de água no solo (Nicoloso et al. 2008). Neste estudo, na zona de média RP o efeito da escarificação foi de incremento de 3,2% na produtividade de soja em relação a ao tratamento não escarificado (Figura 12). Enquanto, na zona de baixa RP o incremento foi de 12,3%, alcançando a maior produtividade do experimento (4.150 kg ha⁻¹). Nos concursos de produtividade de soja do CESB (Comitê Estratégico Soja Brasil) conforme Sako et al. (2016), produtividades acima de 4.200 kg/ha tem sido reportadas em solos com RP muito baixa (de 0,9 a 1,7 MPa).

A maior produtividade de soja na área escarificada em zona de baixa RP pode estar associada ao menor escoamento superficial, e ao incremento da infiltração e armazenagem de água. Neste caso, áreas em que pela conformação do terreno proporcionem uma

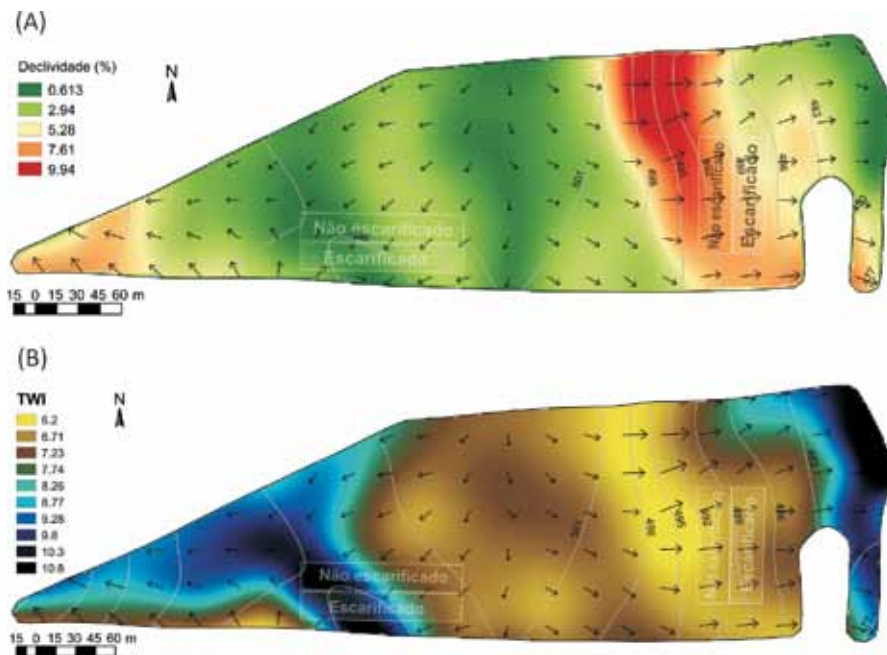


Figura 13. Área de captação de água e posicionamento dos blocos a) média resistência a penetração em área de baixa captação de água e b) baixa resistência a penetração e maior captação de água. Não-Me-Toque, RS.

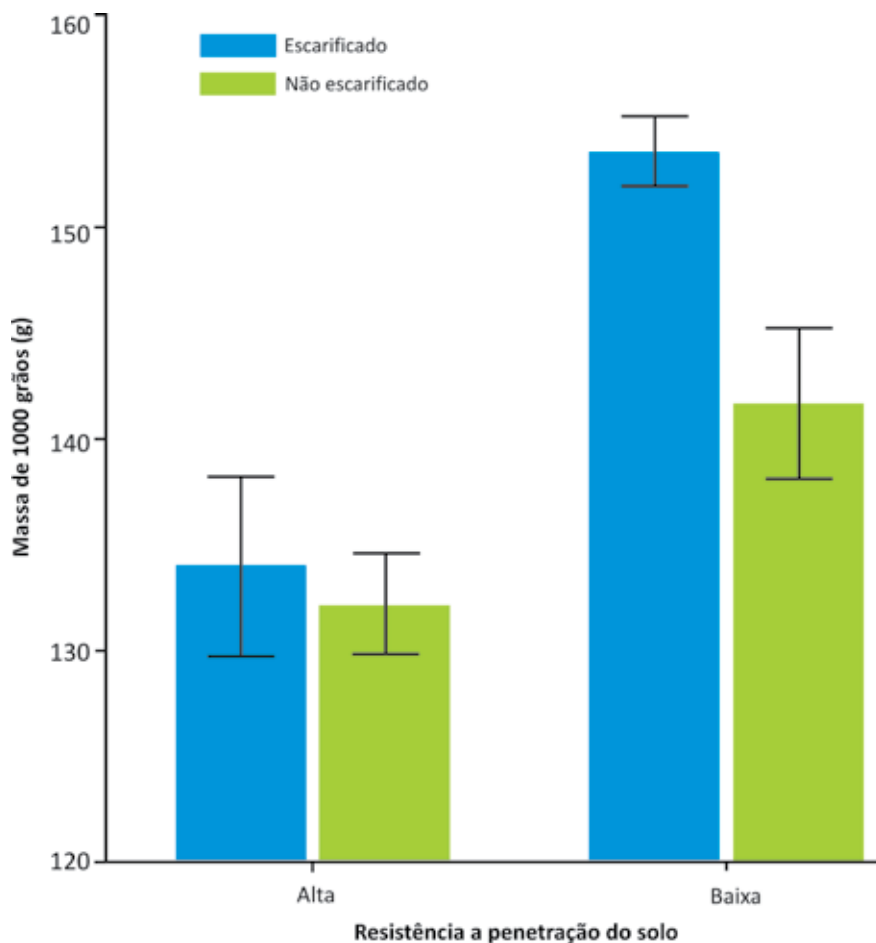


Figura 14. Influência da escarificação mecânica do solo no peso de mil de grãos em duas zonas de resistência a penetração. Não-Me-Toque, RS.

maior área de captação de água (Figura 13) e quando escarificadas tem o armazenamento de água favorecido proporcionando incremento na produtividade da cultura.

Na zona de baixa RP porém com elevada captação de água, a escarificação afetou positivamente o peso de mil grãos (Figura 14). Neste caso, no tratamento com escarificação houve um incremento de 7,0% no peso de mil grãos em relação ao tratamento sem mobilização. A maior quantidade de água armazenada no solo pode justificar este resultado.

Conclusões

1 – A CEa do solo, tanto na leitura rasa como profunda, apresentou rela-

ção significativa e positiva com a resistência a penetração na camada que restringe o desenvolvimento radicular da soja (0,20-0,25 m);

2 – Em um ano com satisfatória distribuição de chuvas e com maior parte da área com resistência a penetração não restritiva, a produtividade de soja não foi alterada significativamente pela escarificação. Porém, na área de baixa resistência a penetração com elevada captação de água a escarificação ocasionou um incremento de 12,3% na produtividade de soja devido ao aumento do peso de mil grãos.

3 – O acúmulo de água devido as condições topográficas do terreno

pode ser um atributo importante para a orientação da escarificação sítio-específica.

Referências

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C. & SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade das cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:787-794, 2006.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. 2006. Disponível em: http://www.icnfobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm. Acesso em: 28 de mai. 2017.

CARMO, D. L. do. Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos. 2014. 168p. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. *Revista Plantio Direto*, 2011, p. 4-9, 2011.

CORASSA, G. M., AMADO, T. J., SCHWALBERT, R. A., REIMICHE, G. B., NORA, D. D., HORBE, T. A., ALBA, P. J. (Setembro de 2016). **Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51(9). Acesso em 22 de Outubro de 2017, disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000901306

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v.46, p.11-43, 2005.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Prin-

- ciples, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.
- CUBILLA, M. REINERT, D.J.; AITA, C. & REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, 71:29-32, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.) *Methods for assessing soil quality*. Wisconsin, USA: **Soil Science Society American**, 1996. p.25-37. (Special Publication, 49).
- EMBRAPA. **Solos do Estado do Rio Grande Do Sul**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.46).
- FRIEDMAN, S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture** 46 (2005) 45-70.
- MACEDO, D. X. S.; MONTEIRO, L. A.; SANTOS, V. C. **Compactação, escarificador e subsolador**, 2016. Disponível em: http://www.lima.ufc.br/arquivos_pdf/20160503104319.pdf. Acesso em: 27 de mai. 2017.
- MCBRIDE, R. A.; GORDON, A. M.; SHRIVE, S. C. 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, 54,290-293.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G. & ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:531-538, 2001.
- NICOLODI, M.; GIANELLO, C. Reflexão sobre a fertilidade além das condições químicas do solo. **Boletim Informativo da SBCS**: v.42, N.3, set/dez de 2016, p. 40-47.
- NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1723-1734, 2008.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª edição, 1989. Fundação Instituto de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro, RJ.
- OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidade de plantas**. Jaboticabal, 2010.
- PERALTA, N. R., & COSTA, J. L. (Novembro de 2013). **Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management**. Computers and Electronics in Agriculture, 99, 218-226. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816991300241X>. Acesso em: 22 de Out. 2017.
- PERALTA, N. R.; CALANDRONI, M.; COSTA, J. L. **Relacion espacial entre la conductividad eletrica aparente del suelo medida com sensores de contacto y no contacto en un suelo del sudeste bonaerense**. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281253451_RELACION_ESPACIAL_ENTRE_LA_CONDUCTIVIDAD_ELECTRICA_APARENTE_DEL_SUELO_MEDIDA_CON_SENORES_DE_CONTACTO_Y_NO_CONTACTO_EN_UN_SUELO_DEL_SUDESTE_BONAERENSE. Acesso em: 09 de jan. 2018.
- SAKO, H.; ALVES, M.; MORAES, M. F.; TEIXEIRA, W. W. R.; SILVA, R. O. L.; SHIOZAKI, E. A. **Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha**. Circular Técnica 2, 2016. Disponível em: <http://www.cesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2016/11/Circular-Tecnica-2.pdf>. Acesso em: 09 de jan. 2018.
- SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M. & FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 973-983, 2003.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; WIEBOLD, W. J. Comparison of Electromagnetic Induction and Direct Sensing of Soil Electrical Conductivity. **Agronomy Journal**, Vol. 95, May-June 2003.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; HUGHES, D. F.; DRUMMOND, S. T.; (1995): **Electromgnetic induction sensing as an indicator of productivity on claypan soil**. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. (eds): *Site Specific Management for Agricultural Systems*. Proc. 2º Int. Conf., March 27-30, 1994, Minneapolis, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, 671-681.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCEF, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, V.46, p.263-283, 2005.
- TAYLOR, H. M. **Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield**. In: BARNES, K. K., org. *compaction of agricultural soils*. Madison, American Society of Agricultural Engineers, 1971. P. 292-305, 1971. (ASAE Monograph).
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M. & PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to-coarse-textured soil materials. **Soil Sci.**, 102:18-22, 1966.
- UN NEWSCENTRE. **World population projected to reach 9.6 billion by 2050**. Disponível em: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.WSoNg-vyviX>. Acesso em: 27 de mai. 2017.