

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

William Alex Wagner

**ESPACIALIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E O EFEITO DA
ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA SOB A PRODUTIVIDADE DA
CULTURA DA SOJA**

Santa Maria, RS
2017

William Alex Wagner

**ESPACIALIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E O EFEITO DA
ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA SOB A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

**Santa Maria, RS
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Wagner, William Alex

ESPACIALIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E O EFEITO DA ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA SOB A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA / William Alex Wagner.- 2017.

49 p.; 30 cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Coorientador: Geovane Boschmann Reimche

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2017

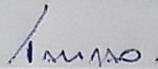
1. Técnicas de descompactação de solo 2. Escarificação
I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Reimche, Geovane Boschmann III. Título.

William Alex Wagner

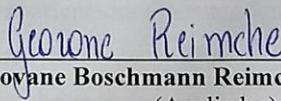
**ESPACIALIZAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E O EFEITO DA
ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA SOB A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

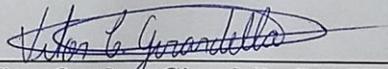
Aprovado em 21 de agosto de 2017:



Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Geovane Boschmann Reimche, Dr. (UFSM)
(Avaliador)



Vitor Cauduro Girardello, Dr. (URI)
(Avaliador)

Santa Maria, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força em continuar sempre.

A minha esposa Adrieli Dal Vesco Wagner pelo principal incentivo para que esse sonho se tornasse uma realidade e pelo entendimento nos meus momentos de ausência.

Aos meus pais Claudir e Marlei pela educação, compreensão e incentivo para que eu pudesse seguir meus passos.

À empresa Stara pelo trabalho e pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao professor e amigo Telmo Amado pela dedicação, incentivo e sabedoria que nos transmite no dia a dia.

Aos colegas da Stara que em algum momento me auxiliaram na condução do trabalho: Willian, Jonas, Manuel, Abrão.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão e seus professores.

Aos colegas de curso pela amizade, em especial ao Vinícius, Sezar e Elias pelo convívio nas aulas, viagens e a Polar pós-aula no finado Pinus Bar.

A minha família pelo entendimento nos meus momentos de ausência.

Aos produtores Marcos e Marcelo Van Riel pela disponibilidade da área de experimentação.

À Cotrijal, em especial ao Leonardo e sua equipe, pela disponibilidade do equipamento para que o trabalho fosse possível.

A todos os colegas do Projeto Aquarius (Raí, Tiago Teixeira, Tiago Hörbe, Geomar, Luan) pelo compartilhamento de conhecimento e amizade.

Ao colega, amigo e coorientador Geovane Reimche.

À banca examinadora.

A todos vocês, muito obrigado de coração!

RESUMO

EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* L.)

AUTOR: William Alex Wagner
ORIENTADOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

O uso de técnicas para a descompactação de solos tem crescido ano a ano em um planeta onde a demanda de alimentos é maior a cada dia. Nesse contexto, o Brasil vem se consolidando como um dos principais produtores de alimentos para atender a essa demanda, sendo a soja a principal cultura de grãos cultivada no país e uma das grandes responsáveis pelo resultado econômico e pelo destaque do agronegócio brasileiro. Visando cada vez mais uma produção crescente dessa importante cultura, técnicas de descompactação de solo têm sido utilizadas constantemente. A compactação do solo ocorre em decorrência de vários fatores: integração da lavoura-pecuária, intensificação de cultivos, utilização de máquinas cada vez maiores e mais pesadas, realização de operações com nível inadequado de umidade do solo. A soma desses fatores resulta em um adensamento do solo, o qual restringe a infiltração e armazenamento de água, ocasiona enxurradas e limita o desenvolvimento da estrutura radicular das culturas implantadas. Ao promover a descompactação do solo seja através de métodos biológicos ou mecânicos, as condições físicas do solo tornam-se mais adequadas ao desenvolvimento das culturas, possibilitando uma melhor infiltração de água no solo e uma melhor distribuição da estrutura radicular da planta no solo, aumentando a capacidade da planta de tolerar períodos de estresses hídricos. No ensaio em questão, foi utilizado um quadriciclo que contava com a medição da compactação de solo através do sistema automatizado para medição. Com base nesta informação foi realizado manejo de escarificação em uma área que apresentava alta resistência a penetração do solo e escarificada uma área que apresentava baixa resistência a penetração. Tornou-se possível observar que esse manejo trouxe um incremento de 3,2% de produtividade de grãos na área de alta resistência a penetração e de 12,3% na área de baixa resistência a penetração, porém sem diferença estatística. Ao observar o efeito da escarificação em cada zona de resistência a penetração de solo distinta, o efeito produtivo mais positivo na zona de baixa resistência a penetração se deve ao fluxo preferencial de água da área assim como uma maior área de captação de água, concluindo que para uma escarificação sítio-específica deve ser atrelado o mapeamento de fluxo acumulado de água ao mapeamento de resistência a penetração do solo para assim realizar um trabalho realmente eficiente.

Palavras-chave: Compactação de Solo. Escarificação. Escarificador. Soja.

ABSTRACT

EFFECTS OF SOIL COMPACTION ON SOYBEAN (*Glycine max* L.) YIELD

AUTHOR: William Alex Wagner
ADVISOR: Telmo Jorge Carneiro Amado

The use of techniques aiming soil decompression have been increasing year after year in a planet where food demand is greater every day. In this sense, Brazil have been standing out as one of the main producers in order to meet this increasing demand. Soybean is the main crop and it is among the biggest responsible factors behind economically success of the Brazilian agribusiness. Aiming at increasing production of this important crop, soil decompression techniques have been used constantly. Soil compaction occurs due to the crop-livestock integration, intensification of crops, use of large and heavy machines and agricultural operations with inadequate soil moisture level. The sum of these factors results in an increase in soil density, which restricts water infiltration and storage, leading to flooding, and limiting root development. By promoting soil decompression either through biological or mechanical methods, soil physical conditions become more suitable for crop development what increases soil water infiltration and storage root distribution, increasing the plant's ability to tolerate periods of water stress. In the test in question, a quadricycle was used wich counted on the measurement of soil compaction through the automated system for measurement. Based on this information, scarification management was performed in area that presented high resistance to soil penetration and scarified an area that presented low resistance to penetration. It was possible to observe that this management brought a 3.2% increase of grain yield of the area of high resistance to penetration and of 12.3% in the area of low resistance to penetration, but without statistical difference. When observing the effect of the scarification in each zone of resistance to different soil penetration, the most positive yield effect in the zone of low resistance to penetration is due to the preferential water flow of the area as well as a larger area of water abstraction, concluding that for a site-specific scarification, the mapping of accumulated water flow to the soil penetration resistance mapping must be linked to perform a really efficient work.

Keywords: Soil compaction. Scarification. Chisel plow. Soybean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos valores de RP do solo ao longo do perfil do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões.	20
Figura 2 - Imagem da área escolhida.	24
Figura 3 - Pontos determinados para a coleta.	25
Figura 4 - Equipamento cedido pela Cooperativa Cotrijal para análise de penetrometria.	25
Figura 5 - Mapa de RP na cama de 20-25cm.	26
Figura 6 - Mapa de RP na cama de 20-25 cm e os tratamentos realizados.	26
Figura 7 - Coleta realizada utilizando o método de “Coleta de anel volumétrico”.	28
Figura 8 - Equipamento Veris CE.	29
Figura 9 - Escarificador Fox.	30
Figura 10 - Comportamento da Ds do solo ao longo do perfil de solo. Barras de erro representam erro padrão da média (n=3).	33
Figura 11 - Comportamento da Ma, Mi e Pt no perfil do solo respectivamente. Barras de erro representam erro padrão da média (n=3).	34
Figura 12 - Precipitação ao longo do desenvolvimento do ensaio.	35
Figura 13 - CEa na camada de 0,00 m a 0,30 m.	36
Figura 14 - CEa na camada de 0,30 m a 0,90 m.	36
Figura 15 - Média de legumes por planta em cada um dos tratamentos.	38
Figura 16 - Influência do RP do solo no número de grãos por legume em cada zona de manejo.	39
Figura 17 - População de plantas em cada um dos tratamentos.	40
Figura 18 - Influência da RP do solo no peso de mil grãos em cada zona de manejo.	41
Figura 19 - Mapa de declividade da área em estudo.	42
Figura 20 - Influência da RP do solo na produtividade de grãos em cada zona de manejo.	42
Figura 21 - Mapa da área mostrando a área de captação/fluxo preferencial de água.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos e repetições realizadas no ensaio.....	27
Tabela 2 - Características técnicas e agronômicas da cultivar SYN1157RR®.....	31
Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson da compactação do solo em diferentes camadas de profundidade e da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo usando os valores preditos para um grid de 10 x 10 m através da análise de krigagem ordinária.....	37
Tabela 4 - Número de legumes com um, dois, três e quatro grãos em cada um dos tratamentos.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de precisão
CE	Condutividade elétrica
CEa	Condutividade elétrica aparente
Cm	Centímetro
Ds	Densidade
G	Gramas
GL	Grãos por legume
Ha	Hectare
Kg	Quilograma
kPa	Quilopascal
L1G	Legumes com um grão
L2G	Legumes com dois grãos
L3G	Legumes com três grãos
L4G	Legumes com quatro grãos
LP	Legumes por planta
m	Metro
Ma	Macroporosidade
Mi	Microporosidade
mm	Milímetro
MOS	Matéria orgânica do solo
MPa	Megapascal
MS	Massa de solo
mS/m ²	Milissimens por metro quadrado
MSS	Massa de solo seco
MSSAT	Massa de solo saturado
°C	Graus centígrados
PMG	Peso de mil grãos
Pop.	População
Prod.	Produtividade
Pt	Porosidade total
RP	Resistência a penetração
SPD	Sistema de plantio direto
V	Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 FATORES PROMOTORES DA PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	15
3.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	15
3.2.1 Porosidade do solo	16
3.2.2 Densidade do solo	17
3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO	17
3.4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DA COMPACTAÇÃO DO SOLO	18
3.4.1 Resistência à penetração	18
3.4.2 Sensores do solo	21
3.5 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS COMPACTADOS	21
3.5.1 Método cultural	22
3.5.2 Método mecânico	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 SOLO.....	33
5.1.1 Densidade do solo (Ds)	33
5.1.2 Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e Porosidade Total do Solo (Pt)....	34
5.1.3 Precipitação	35
5.1.4 Relação CEa x RP	36
5.2 PLANTAS	37
5.2.1 Legumes por planta	37
5.2.2 Legumes com 1, 2, 3 e 4 grãos.....	38
5.2.3 Grãos por legume	39
5.2.4 População de plantas por hectare:	39
5.2.5 Peso de mil grãos	40
5.2.6 Produtividade de grão	41
6 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO GERAL

No mundo atual, muito se tem falado na necessidade do aumento da produção mundial de alimentos. Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, a população mundial de 7,2 bilhões de pessoas deverá aumentar para 9,6 bilhões até 2050 (ONU, 2013). Diante deste cenário, conseqüentemente a produção de alimentos terá que aumentar proporcionalmente para atender a essa crescente da população mundial, e para fazer isso com sustentabilidade, não existem outras vias a não ser a verticalização das áreas agrícolas já existentes.

Analisando esse contexto, a agricultura já passou por profundas transformações desde o momento que começou a ser praticada, iniciando nos primórdios com uma agricultura de subsistência, onde todos os processos eram feitos manualmente e ao longo do tempo foram se desenvolvendo várias práticas, a fim de facilitar e garantir o cultivo de alimentos nas comunidades. Alguns anos após, iniciou-se o processo de mecanização da agricultura, onde alguns equipamentos eram fabricados para facilitar a vida dos trabalhadores. Esses equipamentos foram sendo aprimorados até surgirem tratores, semeadoras e outros equipamentos que facilitaram a vida do homem, no cultivo dos campos de produção.

Um passo muito importante na história da agricultura, em meados dos anos 70 foi o desenvolvimento do sistema de plantio direto (SPD), que tornou possível recuperar áreas degradadas pelo antigo manejo. Junior 2011, cita que o primeiro produtor a iniciar o plantio direto em área comercial no ano de 1972, foi devido à preocupação com o desgaste excessivo do solo.

Segundo Kochhmannk & Denardin (2000), na grande maioria dos casos, as lavouras aonde se pretende implantar o plantio direto, apresentam sulcos ou depressões no terrenos decorrentes de processos erosivos que sofreram quando submetidas a métodos de manejo de solo sob intensa mobilização da camada arável.

O plantio direto permitiu um aprimoramento no sistema de plantio, mas principalmente nas semeadoras, as quais devem fazer o corte da palhada e abrir o sulco, depositar o fertilizante e a semente com o menor revolvimento de palha possível, para que essa cobertura se mantenha e consiga manter as características do solo mesmo com ocorrência de severas chuvas. Essa palhada em superfície faz o papel de “proteção” sobre o solo, o qual passa a não sofrer tanto com enxurradas e mantém uma temperatura ambiente mais estável para a semente e posteriormente para a planta.

Após isso em meados dos anos 90, a pressão por parte dos produtores para a redução de custos do cultivo e aumento dos níveis de produtividade, motivou para que as indústrias sementeiras desenvolvessem cultivares com alta tecnologia e altamente responsivas, que permitiu elevar os tetos produtivos, ter um controle maior de ervas daninhas, pragas e fungos e conseqüentemente aumentar a rentabilidade da agricultura.

Enfim, uma das últimas evoluções que se teve em nível de Brasil, foi a Agricultura de Precisão (AP) em meados do ano 2000. Inicialmente, com equipamentos vindos da Europa destinados a realização de aplicação de fertilizantes a taxa variada, a partir de um mapa de prescrição, este, gerado através de malha amostral, coleta e análise de solo.

A AP considera que fatores de produção podem ser quantificados e, ao mesmo tempo georreferenciados, sendo possível realizar algum tipo de intervenção localizada nesta área em função da necessidade específica local, fundamentado na existência da variabilidade espacial dos fatores produtivos e da própria quantidade produzida pela cultura (BALASTREIRE et al., 1997; AMADO & SANTI, 2007).

No Brasil a Agricultura de Precisão iniciou pela coleta e análise de solo para a aplicação de corretivos como forma de uniformização das áreas trabalhadas. Ao passar dos anos, percebeu-se que mesmo com investimentos significativos, algumas manchas de baixa produtividade persistiam, passando dessa forma a fazer uma análise mais aprofundada em cada local, de modo a estudar a variabilidade espacial de cada área.

“A variabilidade espacial pode ocorrer devido a vários fatores, como manchas de solo, áreas com diferente disponibilidade de água ou nutrientes, camadas compactadas, reboleiras de plantas daninhas ou pragas, ou ainda baixa qualidade das operações agrícolas. ” (INAMASU, 2013).

A compactação em solos agrícolas sujeitos à mecanização intensiva frequentemente limita a produtividade das culturas (HAMZA & ANDERSON, 2005), especialmente sob condições de déficit hídrico (KLEIN & LIBARDI, 2000).

As camadas compactadas tem sido um dos grandes limitantes para a elevação dos tetos produtivos, uma vez que limita a infiltração de água no solo, o desenvolvimento e radicular e torna o solo mais suscetível a enxurradas em casos de fortes chuvas.

Segundo Montanha et al. (2016) a necessidade dos produtores rurais em descompactar seus solos para a produção agrícola faz com que os mesmos dependam da utilização de ferramentas de mobilização do solo como escarificadores e subsoladores, visando corrigir essa limitação.

Entre os equipamentos desenvolvidos para a descompactação do solo encontram-se equipamentos com profundidade de trabalho maior/menor, com hastes espaçadas mais próximas ou mais distantes. Normalmente ocorre com um revolvimento de solo maior à medida que as hastes são mais próximas, mais largas e com uma profundidade de trabalho maior. Para determinar qual o melhor equipamento para a realização desse trabalho em cada situação recomenda-se uma análise da área e da camada compactada para que não sejam tomadas medidas drásticas desnecessárias.

A compactação pode ser avaliada a partir de diversos atributos de solo. Dentre as mais variadas formas de mensuração da compactação do solo está o uso do penetrômetro o qual se destaca pela maneira rápida e fácil para medir a resistência a penetração do solo. Outras maneiras também são eficientes, entre elas o uso do método do “Anel Volumétrico” o qual realiza uma coleta de campo com posterior análise laboratorial, não deixando menos eficiente a coleta de dados, mas com uma demanda de tempo maior até a obtenção o resultado final.

Outro método que tem sido bastante utilizado para buscar relações com fatores limitantes de produtividade é a leitura da Condutividade Elétrica Aparente do solo (CEa). A CEa do solo por vezes pode estar relacionada com: textura, fertilidade, compactação, armazenamento de água, etc.

O mapeamento da CEa é rápido e apresenta baixo custo, se comparado com o mapeamento de nutrientes por amostragem e determinação dos atributos por análise em laboratório. Devido sua praticidade e confiabilidade, a CEa tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade existente em um campo de produção (CORWIN e LESCH, 2003).

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do nível de RP do solo na produtividade da cultura da soja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar possível correlação de Condutividade Elétrica aparente (CEa) do solo com o mapa de RP do solo para possíveis tomadas de decisão com base na CEa;
- Estudar a influência da descompactação do solo sobre a produtividade cultura da soja.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FATORES PROMOTORES DA PRODUTIVIDADE DA SOJA

A soja é cultivada em vários estados brasileiros, sendo responsável por 57,02% da área cultivada do país. Segundo a Conab, no seu sétimo levantamento de safra (04/2017), a produção nacional de soja será de 110,16 milhões de toneladas na safra 2016/2017, tendo como produtividade média de grãos em torno de 3.268 kg ha⁻¹.

No entanto, conforme Oliveira (2010) são inúmeros os fatores que podem influenciar no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura da soja, tais como: genética de cultivares, sensibilidade ao fotoperíodo e a temperatura do ar, disponibilidade hídrica, acidez e fertilidade do solo, biologia e microbiologia do solo, atributos físicos do solo, manejos de implantação da cultura, tratos culturais, entre outros.

Com a filosofia da agricultura de precisão e *big-data*, a variação da produtividade nos mesmos talhões está cada vez sendo mais pesquisada, discutida e relacionada às variáveis que interferem em seu desenvolvimento, (OLIVEIRA, 2015).

Atualmente, o plantio direto no Brasil abrange aproximadamente 32 milhões de hectares, o qual agregou em termos de promoção da produtividade das culturas visto seus benefícios agregados ao solo. Este sistema de cultivo é predominante para a cultura da soja. Difere, no entanto, do conceito de SPD com mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas, e manutenção da cobertura vegetal permanente sobre o solo.

Em solos de textura argilosa, esse sistema, quando manejado em monocultivo de soja e baixa adição de resíduos vegetais na entressafra, geralmente apresenta alteração na estrutura física do solo - compactação do solo, (CÂMARA & KLEIN, 2005; SILVA et al. 2009), o que acarreta em menores produtividades para as culturas.

3.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Todo solo apresenta atributos físicos definidos por fatores como rocha matriz, processo pedogenético, posição na paisagem, tipo de vegetação natural, etc. Estes fatores definem os atributos físicos e químicos de um dado solo em seu estado natural (SILVA et al. 1992). Dependendo das condições de uso e manejo, os atributos físicos podem sofrer alteração, (COOTE & RAMSEY, 1983), evoluindo para situações positivas ou negativas ao

crescimento das plantas e produtividades, podendo tais alterações ser permanentes ou temporárias, (BERTOL et al. 2001).

Dentre as propriedades físicas do solo se destacam a porosidade e densidade do solo.

3.2.1 Porosidade do solo

A porosidade do solo é representada pelos espaços do solo ocupados por água e/ou ar. A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, crescimento das raízes no solo entre outras. O solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas, (HILLEL, 1980).

Entre os agregados do solo formam-se os poros maiores chamados de macroporos e no interior dos agregados formam-se os poros menores como os microporos e criptoporos.

Klein & Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que $0,05 \text{ m}^3\text{m}^3$ (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e $0,0002 \text{ m}^3\text{m}^3$ (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que $0,0002 \text{ m}^3\text{m}^3$ (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa).

Os macroporos são responsáveis pela aeração do solo e pela velocidade da infiltração de água, já os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento de água no solo.

A microporosidade (Mi), segundo a metodologia de mesa de tensão descrita pela Embrapa (1979), considera que a mesma corresponde à classe de diâmetro de poros que retém água, quando se aplica uma coluna de água de 0,60 m.

De acordo com Reichert & Reinert (2006), a macroporosidade (Ma) do solo em 10% ($0,100 \text{ m}^3\text{m}^3$) é o suficiente para arejar o solo e satisfazer a demanda respiratória do solo, sendo uma boa indicadora da condição estrutural ou física do solo.

A porosidade total (Pt) determina o volume de poros totais do solo ocupados por água e/ou ar. conforme o método proposto pela Embrapa, (1979), o número ideal de porosidade total seria de 50% ($0,500 \text{ m}^3\text{m}^3$).

3.2.2 Densidade do solo

A densidade do solo (D_s) pode ser definida como a razão da massa do solo seco pelo volume ocupado por este solo. É um atributo naturalmente variável, variando entre solos de classes diferentes em função da sua textura, teores de matéria orgânica, estrutura e mineralogia.

Valores elevados de densidade caracteriza a compactação do solo, e esta pode constituir impedimento mecânico para o crescimento de raízes e conseqüentemente do desenvolvimento das plantas.

A Densidade do solo normalmente é variável, variando entre solos de classes diferentes em função da sua textura. Valores elevados deste parâmetro podem constituir impedimento mecânico para o crescimento das raízes. Conforme proposto por Reichert & Reinert (2003) a Densidade crítica para que se mantenha valores de M_a de $10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ é de $1,43 \text{ Mg m}^3$.

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

No plantio direto, os solos apresentam em geral, na camada superficial, após três ou quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparados com valores do preparo convencional, (SPERA et al. 2004). Isto decorre, principalmente, por processo natural de arrançamento do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade, (STONE & SILVEIRA, 2001).

Reichert et al. (2007) citam a utilização de máquinas e equipamentos agrícolas cada vez maiores e mais pesados, a lotação elevada de animais nas áreas, (LANZANOVA et al. 2007) e o emprego de semeadoras equipadas exclusivamente com discos como elementos rompedores de solo, (DENARDIN et al. 2008) são fatores promotores de compactação do solo.

A compactação do solo nos talhões, em geral, se apresenta de forma heterogênea, tendo variabilidade de densidade do solo tanto em perfil de solo, ao longo de sua profundidade, bem como variabilidade espacial da densidade do solo. Esta variabilidade é composta devido às variações de textura do solo, composição mineralógica, teor de matéria

orgânica do solo, locais com maiores valores de umidade, variação do trânsito de máquinas e implementos agrícolas, pisoteio animal, entre outras.

Silva et al. (2003), constataram que antes do preparo, o tráfego de quatro passadas de uma carreta agrícola provocou decréscimos de até 50% na porosidade e permeabilidade nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, quando comparados com o efeito provocado por uma única passada.

Segundo Reichert et al. (2003) são valores de densidade do solo adequado ao crescimento radicular para solos argilosos de 1,3 - 1,4 g cm⁻³ e para solos franco arenosos de 1,7 - 1,8 g cm⁻³.

Em solos compactados, o sistema radicular concentra-se próximo à superfície (MÜLLER et al. 2001), tornando a planta mais susceptível a estresses hídricos, tanto déficit como excesso hídrico, além de ter limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais, resultando em plantas mais debilitadas aos ataques de patógenos de solo, tendo como consequência menor potencial produtivo das culturas.

3.4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

A avaliação de compactação de solo pode ser realizada de várias formas, tanto medições visuais a campo, métodos mais precisos e avaliações intermediárias. Os sintomas visuais da compactação podem ser observados tanto na planta quanto no próprio solo. Entretanto, deve haver cuidado para não confundir os danos causados pela compactação com sintomas similares causados por seca, deficiências nutricionais, toxicidade por alumínio ou manganês, nematóides, etc, (CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. 2006).

Os sintomas visuais mais frequentes, notados em plantas cultivadas em solos compactados são: alteração na velocidade de emergência da plântula, alteração de tamanho das plântulas, coloração mais amarelada das plantas, sistema radicular restrito, entre outras. Já, em solos podem ser visualizados sintomas como: formação de crosta superficial, erosão superficial com camada encrostada abaixo, etc, (CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. 2006).

A observação desses sintomas estima a situação de compactação de uma maneira prática, rápida e fácil. Para avaliação da compactação do solo de forma quantitativa podem ser realizadas avaliações em atributos do solo, tais como: porosidade, densidade, infiltração de água.

3.4.1 Resistência à penetração

A resistência à penetração (RP), um método considerado intermediário, é amplamente utilizada para avaliação da compactação do solo. Vem sendo utilizada por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al. 2003).

A avaliação da resistência à penetração é realizada através de equipamentos como penetrômetros e penetrógrafos, que através de uma haste que é inferida no solo, seja por força humana ou motorizada são etimados valores de pressão, geralmente na unidade de megapascal (MPa) necessárias para perfurar o solo nas profundidades estabelecidas. Penetrômetros atuais permitem avaliação da compactação do solo até 0,60 m com resolução de uma unidade centimétrica.

Obviamente, quando o aparelho atinge profundidades compactadas, maior é a pressão exercida para que a haste desça um comprimento conhecido. Isto acontece em resposta imediata à maior RP do solo. Após a tabulação dos dados, constrói-se um gráfico, relacionando a RP com a profundidade analisada (CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F., 2006).

Desta forma, a variabilidade de RP presente ao longo da profundidade é conhecida, restando a necessidade de obter a variação espacial ao longo do talhão. O método mais comum para caracterização da variabilidade espacial de RP em lavouras comerciais é através da confecção de malhas amostrais. No entanto, ainda há uma carência de informações que definam qual a intensidade amostral (dimensão da malha) necessária para a obtenção de informações acuradas. Assim, a determinação de um número de amostras que assegure a obtenção de um valor médio confiável, permitirá economia de tempo e trabalho, havendo uma relação custo benefício positiva por meio da acurácia na avaliação com menor custo, (TAVARES FILHO & RIBON, 2008).

Para Cherubin et al. (2011), conforme reduz o tamanho da malha, há maior confiabilidade na definição de zonas compactadas, onde, das dimensões de malhas amostrais estudadas, a mais recomendada para avaliação da RP do solo a campo é a 50 x 50 m.

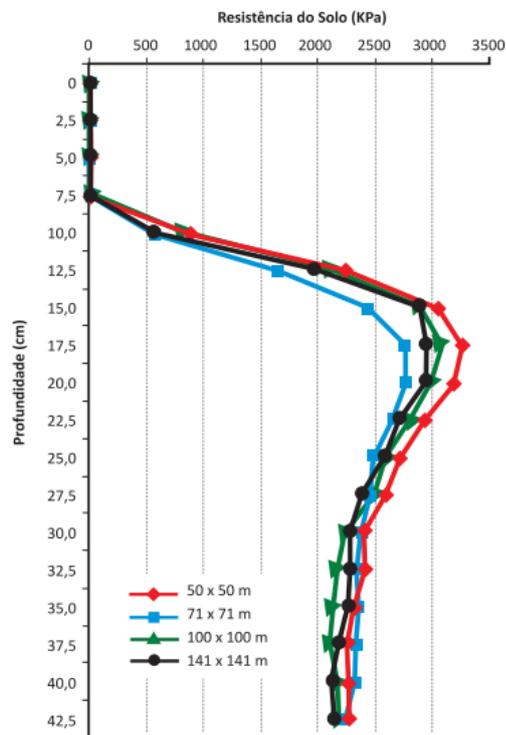
O nível de RP crítica é variável de solo para solo. De maneira geral, considera-se de 2,0 a 2,5 MPa a faixa crítica de resistência do solo com redução importante no crescimento radicular (TAYLOR et al. 1966; TAYLOR, 1971). Para Arshad et al. (1996); Suzuki et al. (2007), 2,0 a 4,0 MPa têm sido considerados como críticos para o desenvolvimento radicular das culturas. 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.

Canarache (1990) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas, outros pesquisadores, como Sene et al. (1985), consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

Secco (2003), estudando o efeito do estado de compactação do solo em um Latossolo Vermelho distrófico, determinou que a RP na faixa de 2,65 a 3,26 MPa proporcionou decréscimos na produtividade de trigo, milho e soja de 18,3; 34,0; e 24,3 %, respectivamente.

Conforme dados levantados por Cherubin et al. (2011), no município de Bela Vista das Missões/RS em um teste com malhas amostrais quadrilateras utilizadas para a identificação da variabilidade espacial da RP do solo foram às seguintes: 50 x 50 m (0,25ha), 70,71 x 70,71 m (0,5ha), 100 x 100 m (1ha) e 141,42 x 141,42 m (2ha), na profundidade próxima 0,20 m, identificou-se a camada com o pico de maior RP (compactada) indiferente da malha amostral utilizada. Isso normalmente se deve a “herança” do sistema convencional de preparo do solo, o que acaba impedindo o desenvolvimento radicular da cultura estabelecida (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição dos valores de RP do solo ao longo do perfil do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões.



Fonte: Cherubin, 2011.

Ainda de acordo com o que foi observado por Cherubin (2011), perde-se resolução da RP do solo à medida que se aumenta a malha amostral com resultados menos precisos podendo dificultar a definição de zonas compactadas, necessitando para esse fim uma intensificação amostral, sendo o ideal nesse caso a malha 50 x 50 m.

3.4.2 Sensores do solo

O mapeamento das propriedades do solo tem fundamental importância no entendimento da variabilidade das lavouras, portanto o usuário pode usufruir do máximo de recursos disponíveis para identificar diferentes parâmetros de solo, podemos citar a fertilidade, e a variação de atributos físicos como textura e compactação, (MOLIN et al. 2015).

Ainda segundo Molin et al. (2015), sensores possuem uma resolução muito maior do que a própria coleta e análise de solo, informando com um maior detalhamento a variação de características desse solo, podendo ser utilizados como uma alternativa para gerar maior confiabilidade aos dados de campo e possível redução de custos.

Os recentes avanços tecnológicos em sensores portáteis, para as medições das características de solo em escala de campo e em tempo real, têm atraído a atenção da pesquisa, na busca pela implementação da agricultura de precisão. A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem em conduzir corrente elétrica. É uma propriedade intrínseca do material, assim como outras propriedades do solo.

O mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) com auxílio de GNSS - *Global Navigation Satellite System* - é uma ferramenta relativamente simples, que tem sido utilizada para estimar a textura do solo, níveis de sais no solo, sendo uma ferramenta promissora para caracterização de propriedades do solo (MCBRIDE et al., 1990; LUND et al. 1999). Alguns equipamentos móveis para medição da CEa no campo têm sido utilizados na agricultura, dentre os quais se destaca o sensor de contato VERIS[®] cuja unidade de medida é em miliSiemens/m² (mS/m²), (MACHADO et al. 2006).

3.5 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS COMPACTADOS

A qualidade do solo e a sua capacidade produtiva devem ser incrementados além da preservação através de medidas de reconstrução do solo, por exemplo, prevenindo a erosão, compactação dos solos e melhorando a profundidade de enraizamento do solo,

“reabastecendo-o” com nutrientes extraídos durante as colheitas de culturas ou produção animal, através do uso correto de fertilizantes minerais e orgânicos, além de práticas efetivas de ciclagem de nutrientes, incrementando a atividade biológica da fauna do solo e melhorando o conteúdo de matéria orgânica do solo.

No entanto, com a ocorrência de solos compactados deve-se partir para métodos de correção desta complicação. Métodos estes que podem ser de âmbito cultural ou mecânico.

3.5.1 Método cultural

O método cultural de descompactação de um solo está associado ao sistema radicular das plantas que, enquanto vivo, preenche a macroporosidade do solo, confere estabilidade aos agregados do solo, e que, quando em decomposição, gera compostos orgânicos, com liberação de substâncias cimentantes dos macroagregados do solo (KOCHHANN et al. 2000).

Culturas como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) da família das Brassicaceae possuem características de descompactação do solo quando implantadas com manejo específico, tendo cuidados com a população de plantas.

Rotação de culturas, principalmente incluindo culturas da família das Poacea (gramíneas), que agregam maiores quantidades de material orgânico do solo beneficia o solo em termo de estrutura do solo.

3.5.2 Método mecânico

O processo mecânico de descompactação de solo está fundamentado no princípio da subsolagem e escarificação, isto é, romper camadas compactadas através de equipamentos motomecanizados que, operam em profundidades ligeiramente maiores do que as normalmente empregadas com implementos de preparo de solo. Portanto, qualquer implemento agrícola, de discos ou de hastes, capaz de operar em profundidades superiores à da camada compactada, pode descompactar mecanicamente o solo, (KOCHHANN et al. 2000).

Subsolagem é uma operação de preparo do solo que serve para romper e/ou quebrar camadas compactadas formadas nas camadas inferiores do solo, causados pelo intenso cultivo das culturas, utilizando cada vez mais máquinas pesadas e maiores, de forma a diminuir o tempo gasto nas operações agrícolas, (SANTOS, 2012).

Ainda segundo Santos (2012), o subsolador é recomendado apenas quando houver uma camada muito endurecida, em profundidades não atingidas por outros implementos. O subsolador opera a uma profundidade superior a 0,30 m.

Como o subsolador atinge camadas mais profundas, há necessidade de maior potência do trator, por isso esse equipamento é o que possui maior necessidade de potência e maior consumo de combustível dentre todos os equipamentos agrícolas de preparo de solo, (MACEDO et al. 2016).

Na agricultura moderna, os escarificadores vêm substituindo com grandes vantagens os arados e grades e, em muitas regiões, estes passaram a fazer parte do passado histórico da agricultura, (LANÇAS et al. 2002).

Lanças (2002) afirma que o escarificador é um implemento, cuja função é promover a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima, realizando mobilização até a profundidade de 0,35 m. É semelhante a um subsolador, porém trabalhando em profundidades menores e com espaçamento entre hastes também menor. Também de acordo com Silveira (1988), escarificar significa romper o solo da camada arável de 15 a 30cm.

Segundo Macedo et al. (2016), numa escarificação bem conduzida (em velocidade e umidade do solo ideais) há benefícios econômicos (menor tempo com equipamento na área, economia de combustível, economia com o tempo de mão-de-obra e menor número de equipamentos a serem adquiridos) e conservacionistas do solo (menor desestruturação do solo, menor erosão, manutenção da matéria orgânica em superfície dentre outros).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em uma área comercial localizada no município de Não-Me-Toque/RS (Figura 2), de propriedade de Marcos Van Riel. A área está situada entre as coordenadas 28°28'22.9676"S, 52°48'52.8909"O, com cerca de 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°C. As chuvas são distribuídas regularmente em todos os meses do ano, com precipitação pluvial anual de 1.750mm. O solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico segundo a classificação de solos (EMBRAPA, 2004).

O experimento consistiu na escolha da área e medição da compactação de solo através do sistema automatizado para medição de compactação SoloStar (FALKER), o qual permite a realização de medição de compactação em grandes áreas de forma automatizada equipado com um GPS Garmin GPSMAP 78s e acoplado a um quadriciclo Honda cedido pela Cotrijal (Cooperativa Tritícola Mista Alto Jacuí LTDA). O equipamento (Figura 4) realizou a medição da compactação de 0,05 em 0,05 m até 0,30 m de profundidade.

Figura 2 - Imagem da área escolhida.



Fonte: Google Earth, 2016.

Para a determinação da RP do solo realizou-se uma medição no dia 30 de novembro de 2015 em condições ideais de campo, com base na malha amostral determinada antecipadamente (Figura 3). O total da área aonde foi realizado o experimento é de 8,3ha. Os pontos de coleta foram definidos através do software Trackmaker, respeitando a malha amostral de 4 pontos/ha, ou seja 50 x 50 m (0,25 ha) com 3 subamostras.

Figura 3 - Pontos determinados para a coleta.



Fonte: SMS AgLeader.

Figura 4 - Equipamento cedido pela Cooperativa Cotrijal para análise de penetrometria.



Após a realização das coletas, extraíram-se os dados do controlador Fieldbox, que foram abertos no programa AgLeader SMS Advanced para a visualização do mapa de RP e a realização da interpolação dos dados.

No presente ensaio utilizou-se a referência da camada considerada crítica por Cherubin (2011), o qual cita que a RP crítica do solo está próximo a 0,20m de profundidade, portanto utilizou-se como referência a camada de 0,20 a 0,25 m (Figura 5), visando eliminar

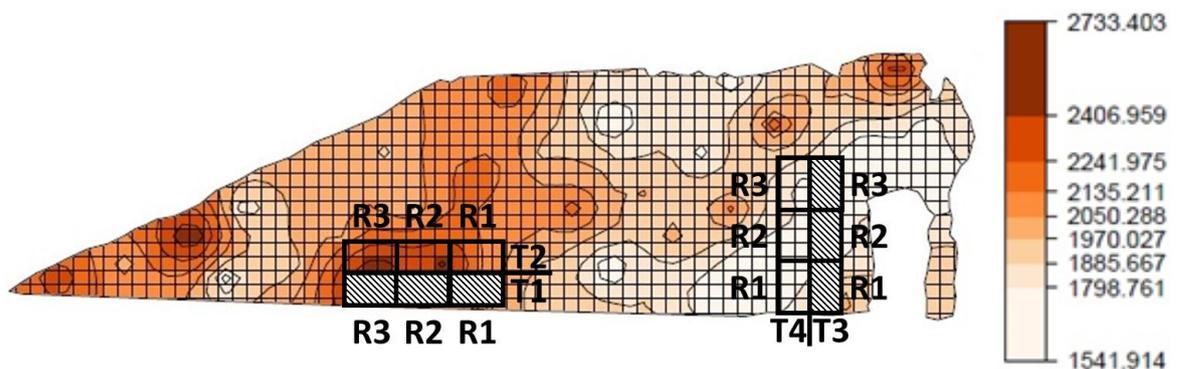
as chances de uma interferência mecânica (sulcador) em menor profundidade e também para melhor caracterização das zonas de manejo.

Figura 5 - Mapa de RP na cama de 20-25cm.



O local selecionado seguiu os valores propostos por Beutler et. al. 2006, dessa forma o local considerado como alta RP foi alocado em um local da área com RP média de 2,43 Mpa contendo pontos de RP que variavam de 2,13 e 2,73 MPa, o outro local considerado como baixa RP foi alocado em um local da área com RP média de 1,71 Mpa, com valores variando de 1,54 Mpa a 1,88 MPa (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de RP na cama de 20-25 cm e os tratamentos realizados.



Cada repetição ficou localizada em uma parcela com Largura: 20m x Comprimento: 40m, ficando disposto conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Tratamentos e repetições realizadas no ensaio.

TRATAMENTO	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

Dentro de cada um dos tratamentos realizou-se a coleta através de anéis para verificação da Densidade (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e Porosidade Total (Pt) do solo, através do método denominado “Método do anel volumétrico”, o qual é o mais utilizado em trabalhos de avaliação da Ds (BLAKE e HARTGE, 1986; EMBRAPA, 1997). Essa análise foi realizada nas camadas: 00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (Figura 7) com três repetições dentro de cada tratamento a ser escarificado. Abrindo-se pequenas trincheiras, a fim de que os anéis com volume conhecido (0,03 m de altura e 0,05 m de diâmetro) fossem introduzidos no solo e, posteriormente, levados ao laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) onde foram feitas as determinações, seguindo a metodologia de mesa de tensão seguida pela Embrapa (1997).

Figura 7 - Coleta realizada utilizando o método de “Coleta de anel volumétrico”.



O cálculo da Ds foi realizado segundo a fórmula abaixo:

$$D_s = M_{ss}/V$$

onde: Ds = Densidade do solo (mg/m^{-3});

Mss = Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas);

V = volume do cilindro (cm^3).

A fórmula utilizada para calcular a Mi foi:

$$M_i = (M_{s60\text{cm}} - M_{ss}) / V * 100$$

onde: Mi = Microporosidade (%);

Ms60 cm = Massa de solos após 72 horas na mesa de tensão a 0,60 m de sucção de coluna de água (gramas);

Mss = Massa de solo seco em estufa 105°C por 24 horas (gramas);

V = Volume do cilindro (cm^3).

Para calcular a Ma, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Ma = (M_{ssat} - M_{s60cm}) / V * 100$$

onde: Ma = Macroporosidade (%);

M_{ssat} = Massa de solo saturado por 48 horas (gramas);

M_{s60 cm} = Massa de solos após 72 horas na mesa de tensão a 0,60 m de sucção de coluna de água (gramas);

V = Volume do cilindro (cm³).

$$Pt = (Mi + Ma)$$

Após as coletas realizadas com anéis 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 comercializado no Brasil pela Stara Indústria de Implementos Agrícolas. A leitura foi realizada nas profundidades de 0 – 0,30 m e 0,30 m – 0,90 m. O equipamento Veris CE (Figura 8) 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.

Figura 8 - Equipamento Veris CE.



Fonte: www.stara.com.br

Para o manejo de descompactação do solo utilizou-se um escarificador modelo Fox (Figura 9) com 09 hastes desencontradas da fabricante Stara, o qual é preparado para trabalhar em área de 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, há discos de corte de

diâmetro 400 mm posicionados na frente das hastes, visando o corte de resíduos vegetais existentes na superfície do solo.

O escarificador possui algumas particularidades referentes às hastes de trabalho. Por se tratar de um equipamento desenvolvido para áreas manejadas sob SPD, ele possui hastes mais estreitas, com 0,03 m de largura e um ângulo em relação ao solo de 30°, caracterizando o modelo de haste reta. Na parte traseira do escarificador Fox, há um rolo destorroador com um diâmetro de 400 mm. Esse rolo dispensa operações complementares de nivelamento do solo.

Figura 9 - Escarificador Fox.



Fonte: www.stara.com.br

Realizou-se a escarificação mecânica no dia antecedente a semeadura da cultura da soja. A cultivar da oleaginosa utilizada foi Syngenta SYN1157RR® com grupo de maturação 5.9 e ciclo indeterminado. Cultivar com características de resistência a acamamento e ciclo médio de 120 a 126 dias. A população recomendada é de 250 a 350 mil plantas/ha. Características mais detalhadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características técnicas e agronômicas da cultivar SYN1157RR®.

Grau de maturação	5.9
Ciclo médio (dias)	120-126
Hábito de crescimento	Indeterminado
Cor do Hilo	Marrom
Cor da flor	Branca
Pubescência	Cinza
Altura das plantas	95 cm
População (mil plantas ha)	250 - 250
Resistência/tolerância	Acamamento, Cranco da haste, Macha olho de rã, Phytophthora

Fonte: Syngenta®

Realizou-se a semeadura no dia 17/12/2015 com espaçamento de 0,50 m entre linhas e a densidade de semeadura foi de 11sem/metro, visando ter uma população de 220.000 sementes/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 a 15%.

Em cada parcela, foram colhidos 5 metros lineares nas duas linhas centrais. Dentre essas plantas selecionaram-se 25 representativas para avaliações de:

Legumes por planta (LP)

Legumes com 1 grão (L1G)

Legumes com 2 grãos (L2G)

Legumes com 3 grãos (L3G)

Legumes com 4 grãos (L4G)

Grãos por legume (GL)

População de plantas (Pop.)

Peso de mil grãos (PMG)

Produtividade de grão (Prod.)

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

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 o a indicação SLICE e/ou LSMENS do SAS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

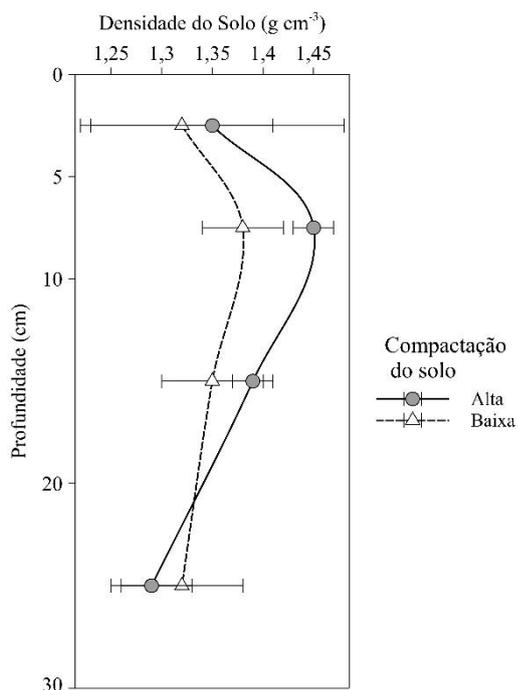
5.1 SOLO

Com base na coleta realizada com anéis, foram determinadas: Ds, Ma, Mi e Pt, através do método de mesa de tensão, descrito por Embrapa (1979).

5.1.1 Densidade do solo (Ds)

Tornou-se possível perceber que na zona demarcada como alta RP observaram-se picos de $1,45 \text{ g cm}^3$, já a zona demarcada como baixa RP se observou como pico máximo aproximadamente $1,37 \text{ g cm}^3$ (Figura 10).

Figura 10 - Comportamento da Ds do solo ao longo do perfil de solo. Barras de erro representam erro padrão da média (n=3).



5.1.2 Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) e Porosidade Total do Solo (Pt)

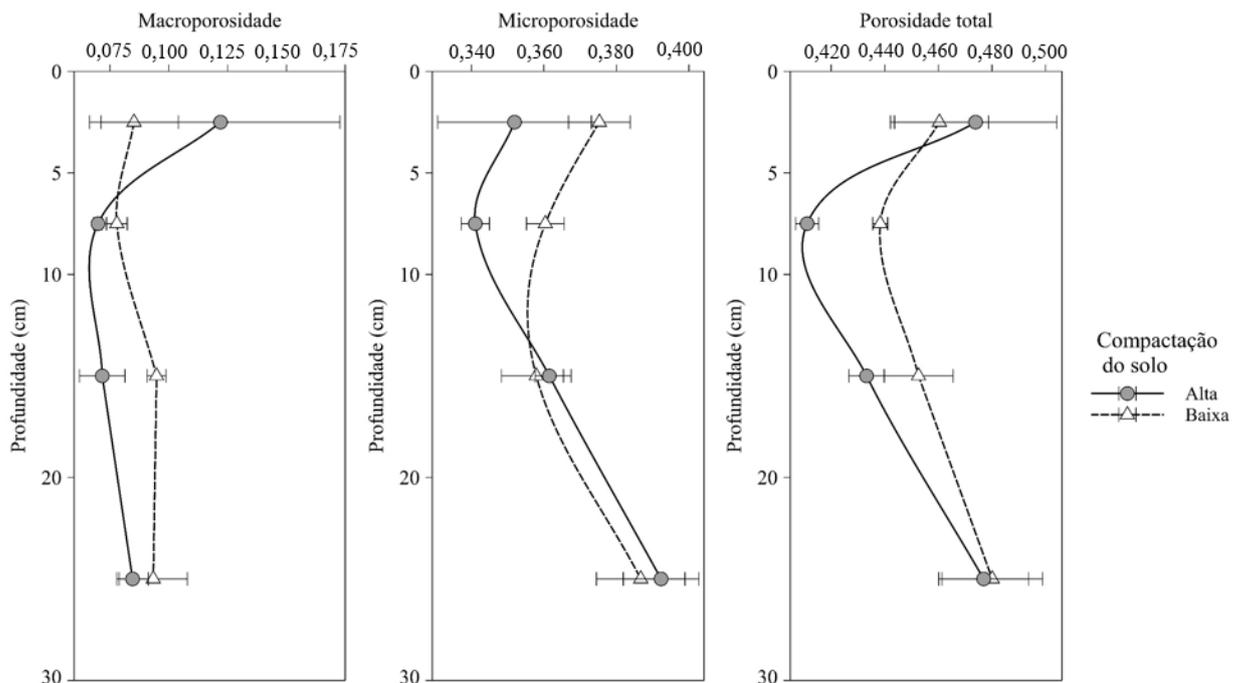
Na zona de alta RP, na camada de 0,05 a 0,25 m a Ma ficou com valores entre $0,065 \text{ m}^3\text{m}^3$ a $0,085 \text{ m}^3\text{m}^3$ e na zona de baixa RP na camada de 0,05 a 0,25 m esse valor ficou muito próximo do ideal variando entre $0,077 \text{ m}^3\text{m}^3$ a $0,095 \text{ m}^3\text{m}^3$. Considerando que a Ma é responsável pela aeração do solo e pela velocidade da infiltração de água, estaríamos tendo uma restrição nesse sentido, de acordo com Reichert & Reinert (2006).

Já, os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento de água no solo sendo um valor ideal de $0,400\text{m}^3\text{m}^3$ (40%). Na camada de 0,05 a 0,25 m na zona de baixa RP foram observados valores entre $0,360 \text{ m}^3\text{m}^3$ e $0,390 \text{ m}^3\text{m}^3$, já na zona de alta RP essa variação foi de $0,340 \text{ m}^3\text{m}^3$ a $0,390 \text{ m}^3\text{m}^3$.

Em ambas as zonas, alta RP e baixa RP a Pt ficou próxima a $0,480 \text{ m}^3\text{m}^3$ (48%), porém na zona de alta RP em pontos a Pt ficou próximo a $0,410 \text{ m}^3\text{m}^3$ a na zona de baixa RP observaram-se números próximos a $0,440 \text{ m}^3\text{m}^3$, portanto novamente a zona de alta RP apresentou números inferiores se comparado a zona de baixa RP.

Os dados de Ma, Mi e Pt podem ser observados na Figura 11.

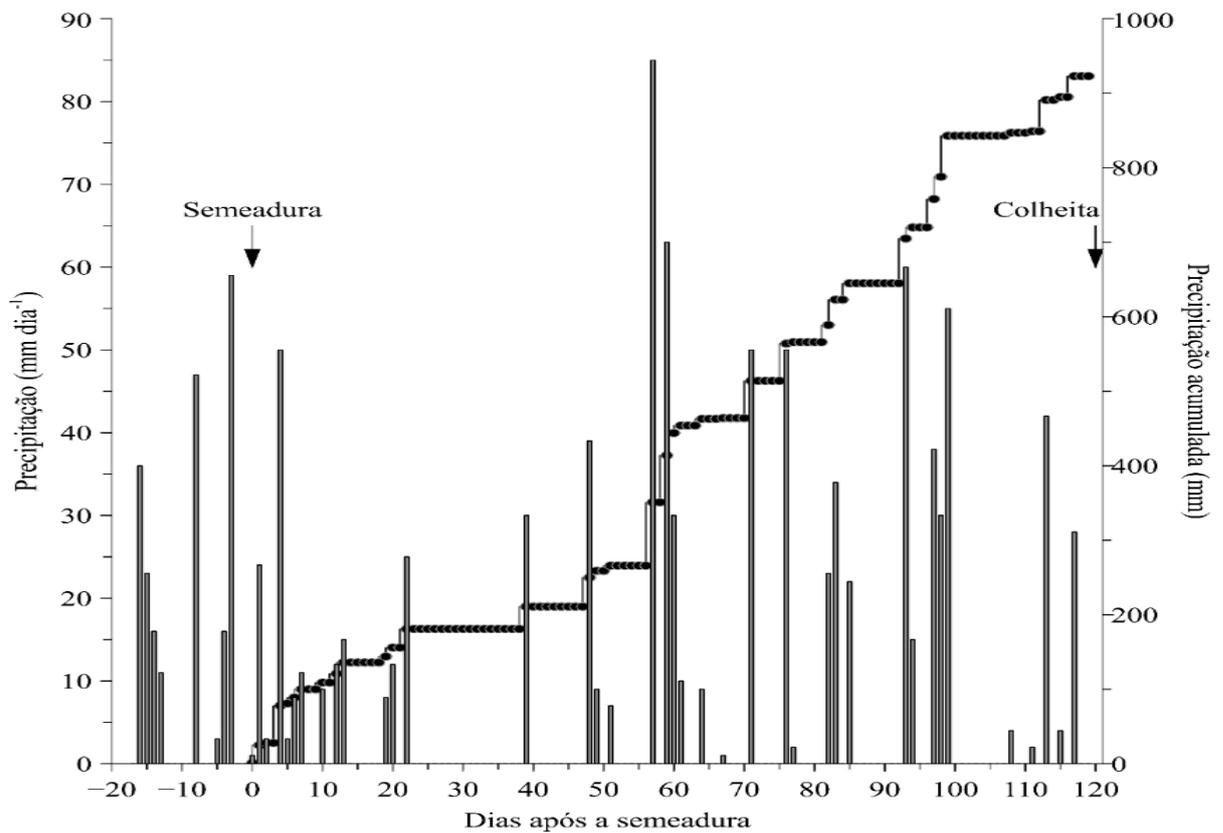
Figura 11 - Comportamento da Ma, Mi e Pt no perfil do solo respectivamente. Barras de erro representam erro padrão da média (n=3).



5.1.3 Precipitação

A precipitação pluviométrica (mm) entre o período que compreendeu a realização do ensaio totalizou 923 mm. Verificando o regime de chuvas (Figura 12), 24 dias após o plantio, percebeu-se que ocorreu uma restrição hídrica de 15 dias. Neste período as plantas estavam na fase VE (Emergência) e VC (Cotilédone), período crucial para um bom desenvolvimento da cultura. Após esse período ocorreu uma boa distribuição das chuvas até o final do desenvolvimento da cultura, a linha no gráfico simboliza a evolução do índice pluviométrico acumulado do plantio até a colheita.

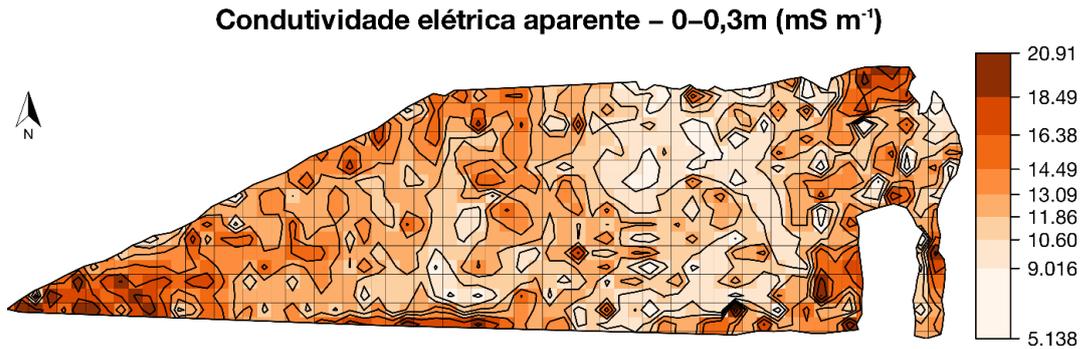
Figura 12 - Precipitação ao longo do desenvolvimento do ensaio.



5.1.4 Relação CEa x RP

A relação da CEa do solo com a RP foi realizada com os mapas interpolados de CEa de 0,00 m – 0,30 m (Figura 13) e 0,30 m – 0,90 m (Figura 14).

Figura 13 - CEa na camada de 0,00 m a 0,30 m.



Observou-se, conforme a Tabela 3, que a relação de maior significância positiva encontra-se na análise de CEa do solo de 0,30 m – 0,90 m com a RP do solo na camada de 0,20 – 0,25 m, ficando com $R^2 = 0.33$.

Figura 14 - CEa na camada de 0,30 m a 0,90 m.

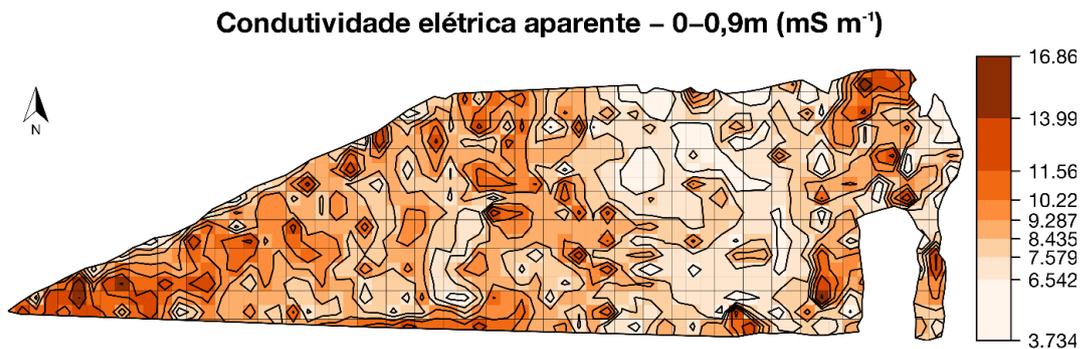


Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson da compactação do solo em diferentes camadas de profundidade e da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo usando os valores preditos para um grid de 10 x 10 m através da análise de krigagem ordinária.

Camada do solo (cm)	Condutividade elétrica aparente do solo	
	0,0 a 30 cm	0,0 a 90 cm
0 - 5	-0,31 ***	-0,39 ***
5 - 10	-0,12 ***	-0,14 ***
10 - 15	0,16 ***	0,28 ***
15 - 20	0,16 ***	0,28 ***
20 - 25	0,30 ***	0,33 ***
25 - 30	0,16 ***	0,15 ***

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

5.2 PLANTAS

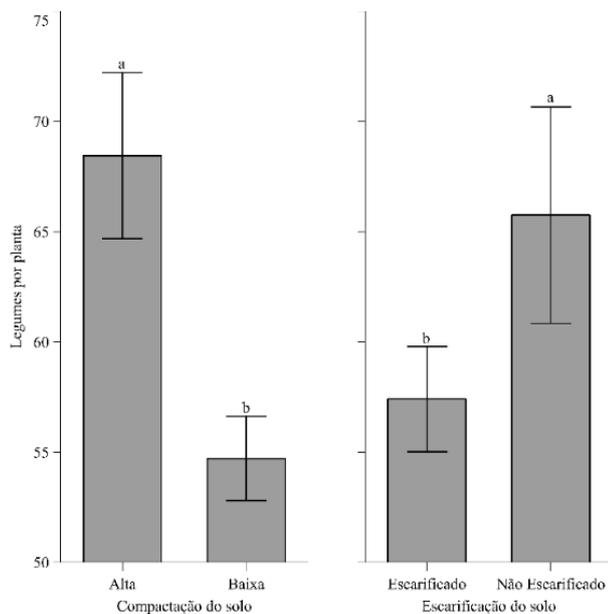
5.2.1 Legumes por planta

Para o parâmetro Legumes por Planta (LP), o resultado da análise de variância demonstrou que o efeito do fator compactação de solo x escarificação, não foi significativo. Entretanto foi encontrado efeito estatisticamente significativo para o efeito simples do fator compactação de solo ($P < 0.003$) bem como para o efeito de escarificação ($P < 0.037$).

Na Figura 15, demonstra-se a média do número de legumes por planta para cada fator. Pode-se observar que na área de alta RP existe um maior número de legumes por planta em relação à área de baixa RP.

Torna-se possível perceber um maior número de legumes por planta na zona de alta RP, ocasionado possivelmente pela população menor de plantas. Em um ano, com restrições hídricas severas nesta situação levanta-se a possibilidade de que a planta teria maior dificuldade em gerar PMG devido a energia gasta em legumes por planta, sofrendo fortes impactos na produtividade.

Figura 15 - Média de legumes por planta em cada um dos tratamentos.



5.2.2 Legumes com 1, 2, 3 e 4 grãos

Na análise de Legumes com 1 grão, o efeito compactação do solo x escarificação não foi significativo ($P=0.245$), já o efeito da compactação mostrou efeito significativo ($P=0.048$) e o efeito escarificação não mostrou efeito significativo sobre esse parâmetro.

Na análise de Legumes com 2 grãos, o efeito compactação do solo x escarificação não foi significativo ($P=0.743$), já o efeito da compactação mostrou efeito significativo ($P=0.002$) e o efeito escarificação também foi significativo ($P=0.016$).

Na análise de Legumes com 3 grãos, o efeito compactação do solo x escarificação não foi significativo ($P=0.078$), já o efeito da compactação mostrou efeito significativo ($P=0.016$) e o efeito escarificação não mostrou efeito significativo sobre esse parâmetro.

Na análise de Legumes com 4 grãos, o efeito compactação do solo x escarificação não foi significativo ($P=0.108$), o efeito da compactação também não apresentou significância ($P=0.762$) e o efeito escarificação apresentou significância ($P=0.028$).

Os dados podem ser verificados na Tabela 4.

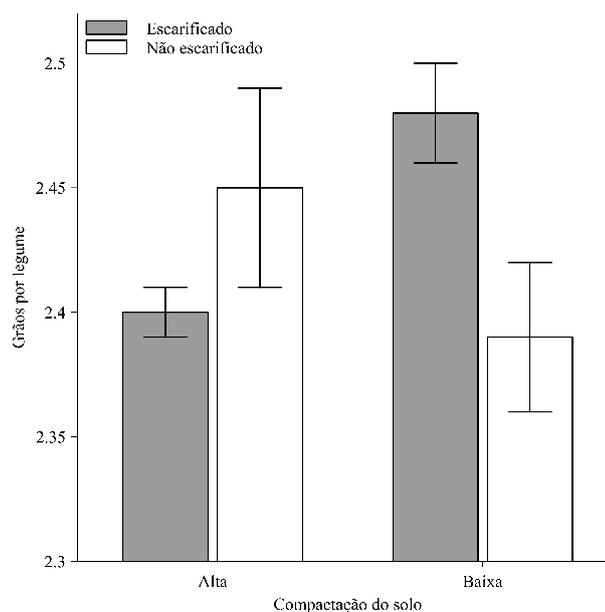
Tabela 4 - Número de legumes com um, dois, três e quatro grãos em cada um dos tratamentos.

Nível de RP	Tratamento	L1G	L2G	L3G	L4G
Alta RP	Escarificado	6,87	23,97	30,97	1,00
	Não escarificado	6,96	27,75	39,43	1,55
Baixa RP	Escarificado	4,32	19,43	28,72	1,18
	Não escarificado	6,20	22,44	28,14	1,30

5.2.3 Grãos por legume

Na análise Grãos por legume (Figura 16), o efeito compactação do solo x escarificação foi significativo ($P=0.044$), portanto houve um efeito de interação entre os dois fatores, porém o teste de comparação de médias não mostrou diferença significativa entre as médias.

Figura 16 - Influência do RP do solo no número de grãos por legume em cada zona de manejo.

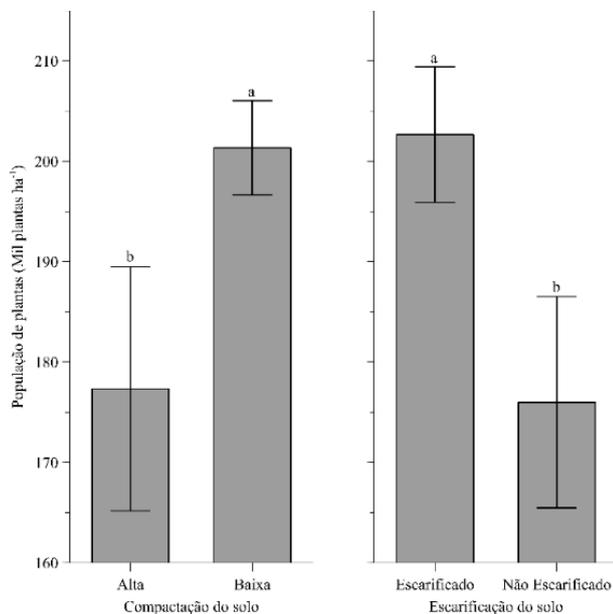


5.2.4 População de plantas por hectare:

A análise de variância apresentou significância para o efeito dos fatores isoladamente. Na Figura 17 observa-se que o local de baixa RP do solo apresentava uma população de plantas superior, quando comparado com o local de alta RP. Da mesma forma, os locais onde se fez o manejo de escarificação previamente a semeadura, observou-se uma população superior ao local aonde se fez a semeadura sem o manejo de escarificação. Observou-se que o efeito da escarificação permitiu uma emergência de um número maior de plantas. Também,

quando comparada a área com baixa RP com a alta RP, a área de baixa RP apresentou uma população maior de plantas por hectare.

Figura 17 - População de plantas em cada um dos tratamentos.



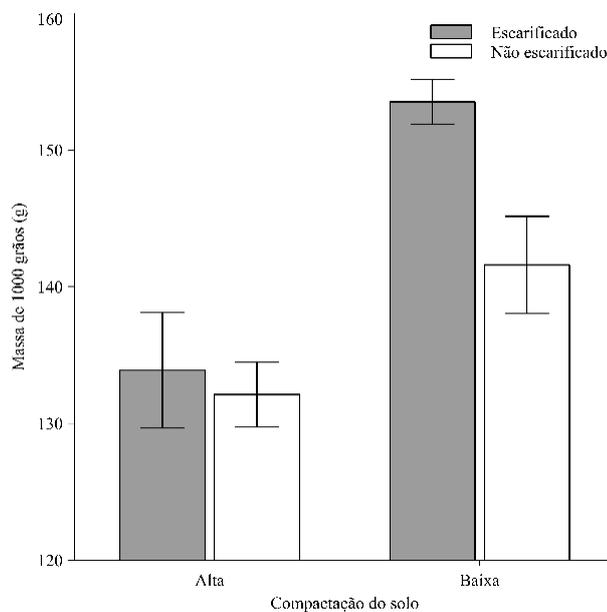
5.2.5 Peso de mil grãos

Observou-se que o efeito de RP do solo afetou o peso de grãos estimado através do Peso de Mil Grãos (PMG). Na média o PMG na área com alta RP foi significativamente inferior (-9,8%) quando comparada à média da área de baixa RP.

Mesmo a análise de variância demonstrando que não houve efeito de interação dos fatores estudados, na área de baixa RP observa-se uma diferença numérica superior no PMG nesse caso foi 8,43% na área escarificada quando comparada a área não escarificada (Figura 18).

Analisando-se os dados, quando escarificadas, ambas as zonas apresentaram uma população de plantas maior com um menor número de legumes por planta, possivelmente esse menor número de legumes por planta tenha permitido um maior PMG.

Figura 18 - Influência da RP do solo no peso de mil grãos em cada zona de manejo.



5.2.6 Produtividade de grão

A análise de variância (ANOVA) mostrou que os tratamentos estudados não tiveram efeito significativo sobre a produtividade de grãos da cultura da soja. Porém, analisando-se numericamente na zona de alta RP, observou-se um aumento de 3,2% na produtividade de grãos ao efeito da escarificação, onde a produtividade média de grãos passou de 3.781kg/ha para 3.914kg/ha e na zona de baixa RP observou-se um aumento de 12,3% na produtividade de grãos ao efeito da escarificação, quando comparado à área não submetida ao manejo de escarificação, passando de 3.707kg/ha para 4.165kg/ha (Figura 20).

Ao analisar numericamente estes dados, pode-se perceber que a zona de baixa RP, quando não escarificada, apresentou produtividades menores se comparada à produtividade de grãos da zona de alta RP. Porém, quando submetida ao manejo de escarificação a zona de baixa RP apresentou maior produtividade de grãos se comparada a zona de alta RP.

De maneira geral, observou-se um incremento produtivo médio de 7,7% ao efeito da escarificação. Pode-se perceber que após o efeito da escarificação a zona de baixa RP apresentou maiores respostas ao efeito da escarificação. Analisando-se as possibilidades percebeu-se que a zona de baixa RP ficou alocada em um local de fluxo preferencial de água da área (Figura 19) o que possivelmente pode ter potencializado a produtividade neste local após a escarificação.

Figura 19 - Mapa de declividade da área em estudo.

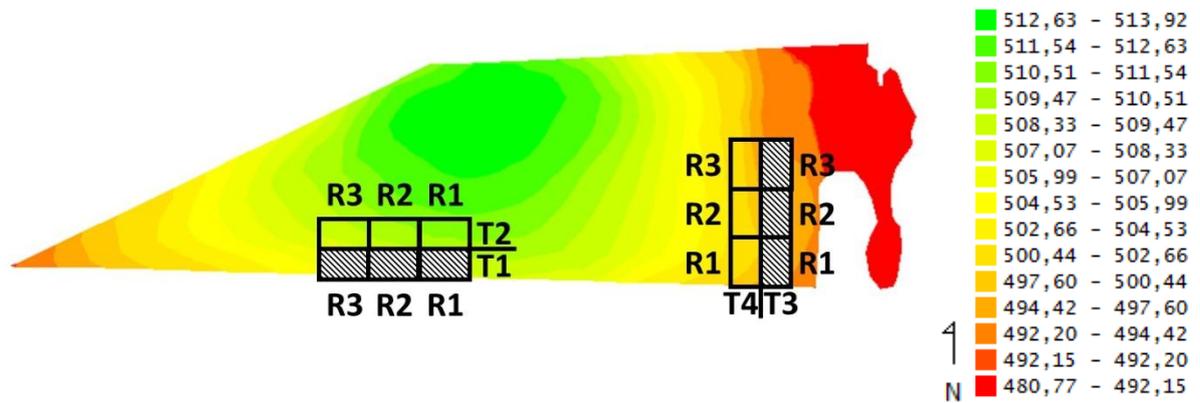
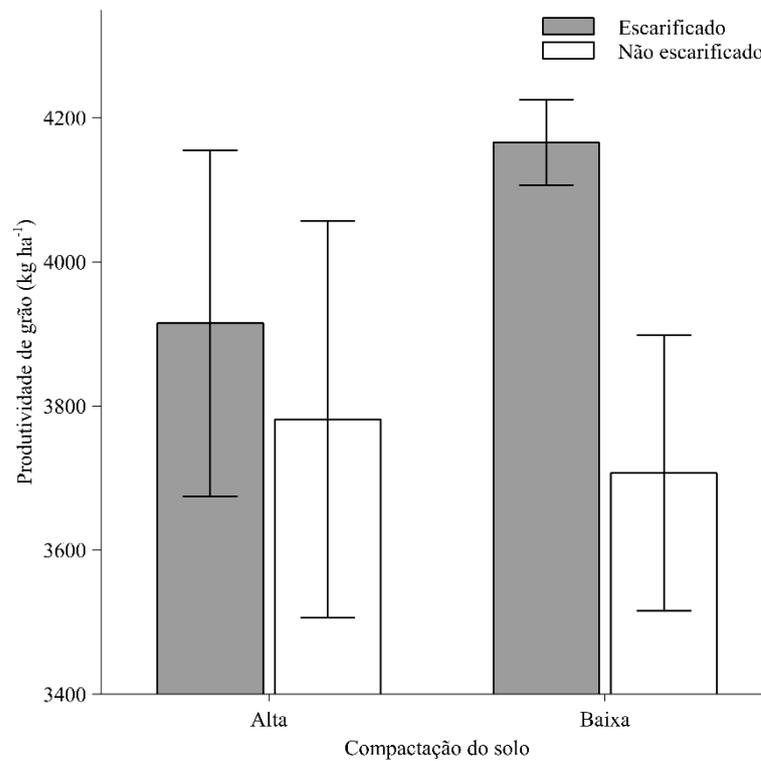
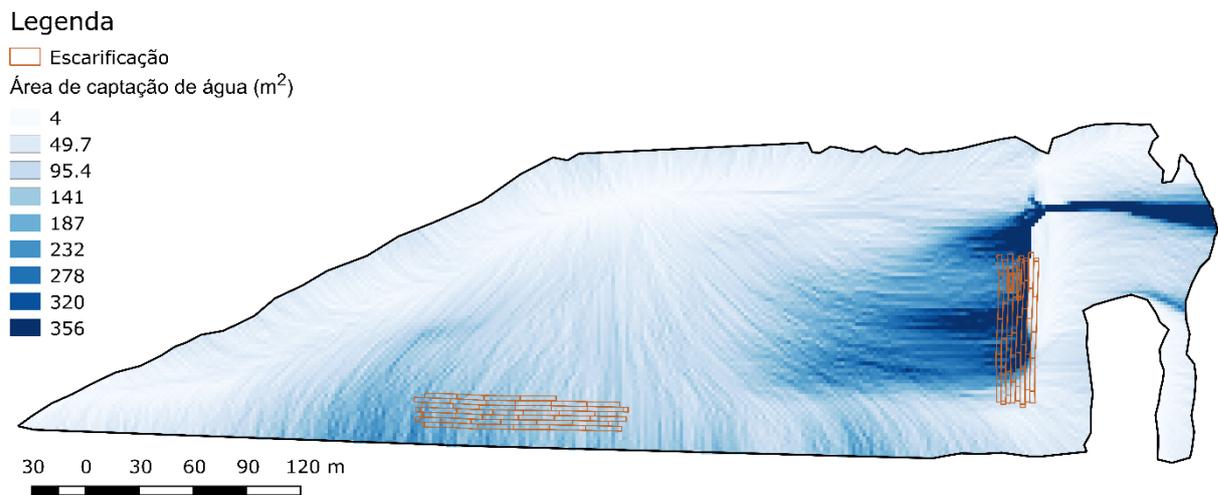


Figura 20 - Influência da RP do solo na produtividade de grãos em cada zona de manejo.



Analisando-se ambas as áreas sem a intervenção de escarificação na zona de baixa RP há uma possibilidade de que tenha apresentado menores índices de produtividade devido ao escoamento superficial, e após realizar a escarificação sítio específica tenhamos potencializado a infiltração da água vinda de uma área maior de captação de água (Figura 21) e, conseqüentemente, um maior aproveitamento de água pela cultura refletindo em uma resposta maior ao manejo.

Figura 21 - Mapa da área mostrando a área de captação/fluxo preferencial de água.



No entanto para esse caso, para ser eficiente em um manejo de escarificação localizada, devem ser observados os mapas de resistência a penetração ao mapa da área de captação/fluxo preferencial de água. Apenas desta maneira se teria uma análise dos melhores pontos a serem manejados de forma que a escarificação fosse o mais eficiente possível.

6 CONCLUSÃO

Depois da realização do ensaio pode-se dizer que:

1 – O quadriciclo equipado com penetrômetro digital realizando 4 leituras de RP por hectare foi eficiente em distinguir uma área com menor qualidade física do solo (menor macroporosidade e maior densidade do solo) de uma zona com superior qualidade física (maior macroporosidade e menor densidade do solo);

2 – CEa do solo apresentou uma relação $R^{20,30}$ com a Resistência a Penetração na camada selecionada para estudo;

3 – A produtividade não foi alterada significativamente pela escarificação, porém numericamente se observou um aumento em 7,4% em ambos níveis de compactação;

4 – Somente o mapa de RP do solo não foi eficiente para a tomada de decisão para zonas que seriam necessárias a escarificação;

5 – Nas condições de RP máxima de 2,7 MPa e densidade máxima de 1,45g cm³ o posicionamento da escarificação foi mais importante em decorrência da área de fluxo acumulado de água e área de captação de água do que a RP isoladamente;

6 – Em condição de RP não severa (RP < 2,5 MPa e Ds < 1,5g cm³) a RP como medida isolada foi menos eficiente que a soma da direção do fluxo acumulado de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C. & SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J.E., ed. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. 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.
- BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, A.I. & AMARAL, J.R.. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. Revista Engenharia Rural, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, 1997.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Sci. Agric., 58:555-560, 2001.
- 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.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd. ed. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375. (Agronomy Series, 5).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- CAMARA, R. K. & KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. Revista Brasileira de Ciência do Solo, pag. 789-796, 2005.
- 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.
- CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. Soil Science Society of America Journal, v. 63, n. 6, p. 1841-1844, 1999.
- CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Soil Till. Res., Amsterdam, 16:51-70, 1990.
- 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 e Tecnologia Agrícola, 2011, p. 4-9, 2011.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Monitoramento Agrícola. V. 4 - SAFRA 2016/17- N. 7, abril, 2017.

COOTE, D. R. & RAMSEY, J. F. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 63, p. 1-14, 1983.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. *Agronomy Journal*, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.

COSTA, M. I. Manejo de solo e efeito residual da gessagem sobre atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distroférico e no desenvolvimento da soja. 2206. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Campus Dourados, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2006.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. & SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. *R. Plantio Direto*, 18:33-34, 2008a.

EMBRAPA. Solos do Estado do Rio Grande Do Sul. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.46).

EMBRAPA Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005.

HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. New York: Academic, 1980. p. 413.

INAMASU, Ricardo. Agricultura de precisão – uma ferramenta ao alcance de todos, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1494832/artigo-agricultura-de-precisao--uma-ferramenta-ao-alcance-de-todos>. Acesso em: 20 de nov. 2016.

JUNIOR, H.B.M; CAMARGO, REGINALDO; BENO, WENDLING. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas, 2011. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/sistema%20de%20plantio%20direto.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2016.

KLEIN, V. A. & LIBARDI, P. L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo Roxo. *Ci. Rural*, 30:959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KOCHHMANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Implantação e Manejo do Sistema de Plantio Direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 9p.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; SERTON, A.L. Compactação e descompactação de solos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19).

LANÇAS, K. P. Subsolação ou escarificação. Revista Cultivar Máquinas, p.34-37, Setembro/Octubre 2002.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. & REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1131-1140, 2007.

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.

LUND, E. D.; COLIN, P. E.; CHRISTY, C.; DRUMMOND, P. E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Madison. Proceedings. Madison: ASA-CSSA-SSA, 1999. P.1089-1100.

MACHADO, P. L. O. A. et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, jun. 2006.

MOLIN, J.P; AMARAL, L.R., COLAÇO, A.F. Agricultura de Precisão. ed. 01. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015, p. 139-140.

McBride, R. A.; GORDON, a. m.; SHRIVE, S. C.. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal, v.54, p.290-293, 1990.

MONTANHA, G.K.; GUERRA, S.P.S.; DENADAI, M.S.; CAMPOS, F.H. Na hora. Revista Cultivar Máquinas, n.159, p.17-19, 2016.

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.

NEIS, L.; PAULINHO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

OLIVEIRA, A. B. Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidade de plantas. Jaboticabal, 2010.

REICHERT, J. M. et al., Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestas: Identificação, Efeitos, Limites críticos e Mitigação In: TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO. Volume V, p.50-106. 2007.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 27:29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Propriedades física do solo. 2006.

SANTOS, L.S. Mecanização Agrícola. Disponível em:
<http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/12-15-18-disciplinainfraestruturaapostila.pdf>. Acesso em: 27 de mai. 2017.

SANTOS, R. Big Data, a nova revolução na agricultura. Disponível em:
<http://jcrs.uol.com.br/site/noticia.php?codn=204620>. Acesso em: 09 de set. 2017.

SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado).

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. & DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49:422-427, 1985.

SILVA, M. L. N.; BAHIA, V. G.; BARROSO, B. G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. *Revista Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 44-50, 1992.

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.

SILVA, V. R. da. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003. 171p.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BORTOLUZZI, E.C. Soil water dynamics related to degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1097-1104, 2009.

SILVEIRA, G. M. O preparo do solo: implementos corretos. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243 p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:533-542, 2004.

STONE L. F. & SILVEIRA P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, pag. 395-401, 2001.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira Ciência do solo*, Viçosa, v. 32, p. 487-494, 2008.

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.