

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DAS ÁREAS IRRIGADAS POR
PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE MANOEL VIANA, RS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RICARDO ESSI

Alegrete, 2016

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DAS ÁREAS IRRIGADAS POR PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE MANOEL VIANA, RS.

RICARDO ESSI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

Orientadora: Prof.^a Ana Rita Costenaro Parizi

**Alegrete, RS, Brasil.
2016**

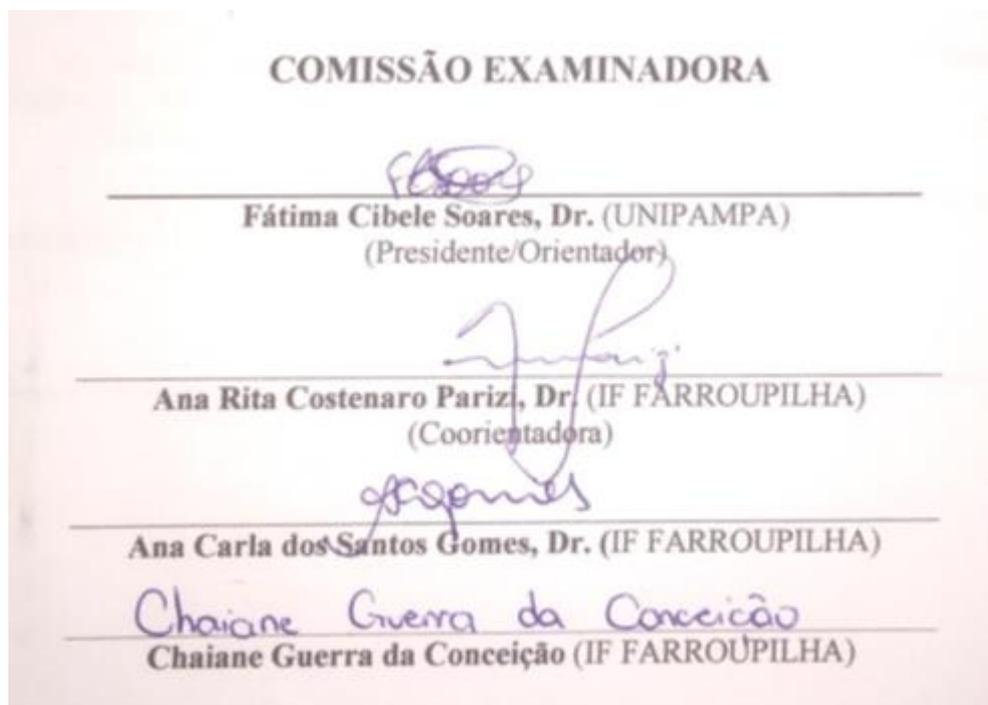
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DAS ÁREAS IRRIGADAS POR
PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE MANOEL VIANA, RS.**

elaborado por
Ricardo Essi

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola



Alegrete, 13 de dezembro de 2016

Resumo

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Agrícola
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DAS ÁREAS IRRIGADAS POR PIVÔ CENTRAL NO MUNICÍPIO DE MANOEL VIANA, RS.

Autor: Ricardo Essi

Orientadora: Ana Rita Costenaro Parizi

Alegrete, 13 de Dezembro de 2016

A irrigação é uma técnica milenar que tem a finalidade de disponibilizar água as plantas de forma adequada para plena produtividade. O pivô central é o equipamento mais utilizado na irrigação, por conseguir irrigar grandes áreas com pouca mão-de-obra. Sua versatilidade e alto desempenho são fatores que facilitam sua escolha. A infiltração da água no solo, é um parâmetro físico-hídrico de total importância, seu conhecimento diz ao irrigante a quantidade de água que o solo pode infiltrar, e seus limites quantitativos na irrigação sem causar danos físicos no solo. A falta de conhecimento técnico dos irrigantes, em relação a suas áreas e como realizar o manejo da irrigação, resulta em um mal aproveitamento do sistema. Já os parâmetros densidade do solo e resistência a penetração são fatores limitantes na produção, seus valores podem tanto alterar a quantidade de água que o solo pode ser capaz de armazenar, ou, dificultar o crescimento radicular das plantas, resultando na redução da produção de grãos. Por isso o objetivo deste trabalho foi avaliar a velocidade de infiltração básica, densidade do solo e resistência à penetração nas áreas irrigadas com pivô central no município de Manoel Viana, RS. Foi feito pelo sindicato rural de Manoel Viana e pela EMATER um levantamento do número de equipamentos de irrigação do tipo pivô central no município. Foram realizadas visitas nas áreas para realização de ensaios de infiltração pelo método dos anéis concêntricos, onde foi realizado três ensaios por equipamento, cada equipamento será dividido em três fatias, visando uma melhor representatividade das amostras. Cada um dos três ensaios foi feito em um lance e uma fatia do pivô sendo eles: um no primeiro lance e primeira fatia, outro no lance do meio e segunda fatia e o terceiro no último lance e terceira fatia do equipamento. A densidade do solo, foi feita a partir de coletas de amostras indeformadas pelo método dos anéis, sendo coletadas doze amostras por cada ensaio de infiltração, destas, três a cada profundidade: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40. A resistência a penetração foi determinada com auxílio de um penetrômetro digital, realizando também três

repetições por cada teste de infiltração. Ao final dos ensaios, os dados foram analisados e relacionados entre si, buscando identificar problemas físicos nas áreas e soluções de melhoria no solo das áreas irrigadas por pivô central no município de Manoel Viana. Constatou que os produtores possuem pouco acompanhamento técnico em seus equipamentos de irrigação, os valores dos parâmetros analisados obtiveram valores variados, tendo variações até mesmo no mesmo equipamento. Apesar deste trabalho fornecer dados importantes para os produtores irrigantes, recomenda-se que mais parâmetros sejam estudados deixando os produtores com melhor entendimento, de forma que possam conhecer melhor seu ambiente de plantio.

Palavras-Chave: Irrigação, infiltração, densidade do solo, resistência à penetração.

ABSTRACT

Conclusion of course work
Course of Agricultural Engineering
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brazil
Universidade Federal do Pampa.

PHYSICAL-HYDRICAL CHARACTERISTICS OF AREAS IRRIGATED BY CENTRAL PIVOT IN THE MUNICIPALITY OF MANOEL VIANA, RS.

Author: Ricardo Essi
Advisor: Ana Rita Costenaro Parizi
Alegrete, December 13th, 2016.

Irrigation is an ancient technique that has the purpose of making water available to plants in a way that is adequate for full productivity. The central pivot is the most used equipment in the irrigation, for being able to irrigate large areas with little labor. Its versatility and high performance are factors that make your choice easier. The infiltration of water into the soil is a physical-water parameter of total importance, its knowledge tells the irrigant the amount of water that the soil can infiltrate, and its quantitative limits on irrigation without causing physical damage to the soil. The lack of technical knowledge of irrigators in relation to their areas and how to perform irrigation management results in poor utilization of the system. However, the parameters soil density and resistance to penetration are limiting factors in the production, their values can either alter the amount of water that the soil can be able to store, or, difficult the root growth of the plants, resulting in the reduction of grain production . Therefore, the objective of this work was to evaluate the infiltration speed, soil density and resistance to penetration in irrigated areas with central pivot in the municipality of Manoel Viana, RS. It was done by the rural union of Manoel Viana and EMATER a survey of the number of irrigation equipment of the central pivot type in the municipality. Visits were performed in the areas to perform infiltration tests by the concentric ring method, where three tests were performed per equipment, each equipment will be divided into three slices, aiming at a better representativeness of the samples. Each of the three trials was done in one set and one slice of the pivot being them: one on the first throw and first slice, one on the middle and second slice throw and the third on the last throw and third slice of the equipment. The soil density was determined by sampling the samples using the rings method. Twelve samples were collected for each infiltration test, three at each depth: 0-10, 10-20, 20-30 and 30- 40. The penetration resistance was determined with the aid of a digital penetrometer, also performing three repetitions per infiltration test. At the end of the trials, the data were analyzed and related to each

other, seeking to identify physical problems in the areas and solutions of soil improvement of irrigated areas by central pivot in the municipality of Manoel Viana. It was verified that the producers have little technical follow up on their irrigation equipment, the values of the analyzed parameters obtained varied values, having variations even in the same equipment. Although this work provides important data for irrigating producers, it is recommended that more parameters be studied, leaving farmers with better understanding, so that they can better understand their planting environment.

Key words: Irrigation, infiltration, soil density, resistance to penetration.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 Irrigação.....	6
2.1.1 Irrigação por superfície	8
2.1.2 Irrigação por gotejamento e microaspersão.....	9
2.1.3 - Irrigação por aspersão	9
2.2 - Infiltração de água no solo	13
2.3 - Fatores que influenciam na infiltração de água no solo.....	14
2.3.1 - Métodos para determinação de infiltração	15
2.3.1.1 Infiltrômetro de anéis concêntricos.....	16
2.3.1.2 Infiltrômetro de aspersão.....	16
2.4 - Resistência a penetração	17
2.5 - Densidade do solo	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização e descrição do estudo	20
3.2 Levantamento de dados	20
3.2.1 - Infiltração de água no solo	20
3.2.2 Densidade do solo	21
3.2.3 Resistência a penetração.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
4.1 ÁREA 1	24
4.1.1 Densidade de solo (DS).....	24
4.1.2 Resistência à Penetração (RP).....	25
4.1.3 Infiltração de água no solo	27
4.2 ÁREA 2	28
4.2.1 Densidade do solo	29
4.2.2 Resistência a penetração.....	29
4.2.3 Infiltração de água no solo	31
4.3 ÁREA 3	32
4.3.1 Densidade do solo	33
4.3.2 Resistência a penetração.....	33
4.3.3 Infiltração de água no solo	35
4.4 ÁREA 4	36
4.4.1 Densidade do solo	37
4.4.2 Resistência a penetração.....	37
4.4.3 Infiltração de água no solo	40
4.5 ÁREA 5	41
4.5.1 Densidade do solo	41
4.5.2 Resistência a penetração.....	42
4.5.3 Infiltração de água no solo	44
4.6 ÁREA 6	45

4.6.1 Densidade do solo	45
4.6.2 Resistência a penetração.....	46
4.6.3 Infiltração de água no solo	48
4.7 ÁREA 7	49
4.7.1 Densidade do solo	49
4.6.2 Resistência a penetração.....	50
4.7.3 Infiltração de água no solo	52
5 CONCLUSÃO.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Ponto fixo do pivô e início da linha lateral mostrando esquema movimentação do pivô central. Fonte: Imagem da internet.....	22
FIGURA 2 - Localização da área 1. fonte: google earth.....	34
FIGURA 3 - Valores de resistência à penetração obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 1.....	35
FIGURA 4 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 1.....	37
FIGURA 5 - Localização da área 2.....	38
FIGURA 6 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 2.....	39
FIGURA 7 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 2.....	41
FIGURA 8 - Localização da área 3.....	42
FIGURA 9 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 3.....	44
FIGURA 10 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 3.....	45
FIGURA 11 - Ilustração da área 4.....	46
FIGURA 12 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 4.....	48
FIGURA 13 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 4.....	50
FIGURA 14 - Localização da área 5.....	51
FIGURA 15 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 5.....	52
FIGURA 16 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 5.....	54
FIGURA 17 - Localização da área 6.....	55
FIGURA 18 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 6.....	56
FIGURA 19 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 6.....	58
FIGURA 20 - Localização da área 7.....	59
FIGURA 21 - Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da área 7.....	60
FIGURA 22 - Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 7.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação da velocidade de infiltração básica do solo (VIB).....	31
TABELA 2 – Classes de resistência do solo à penetração.....	33
TABELA 3 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	35
TABELA 4 – Valores médios da área 1, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50cm.....	36
TABELA 5 – Distribuição em percentagem da classificação da RP penetração nos 3 ensaios....	36
TABELA 6 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	39
TABELA 7 – Valores médios da área 2, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	40
TABELA 8 – Distribuição em percentagem da classificação da RP nos 3 ensaios.....	41
TABELA 9 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	43
TABELA 10 – Valores médios da área 3, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	44
TABELA 11 – Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.....	45
TABELA 12 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	47
TABELA 13 – Valores médios da área 4, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	48
TABELA 14 – Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.....	49
TABELA 15 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	51
TABELA 16 – Valores médios da área 5, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	53
TABELA 17 – Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.....	53
TABELA 18 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	55
TABELA 19 – Valores médios da área 6, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	57
TABELA 20 – Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.....	57
TABELA 21 – Valores de DS (g/cm ³) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.....	59
TABELA 22 - Valores médios da área 7, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.....	61
TABELA 23 – Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.....	61

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos principais fatores que limitam a produção, principalmente em regiões onde a precipitação efetiva é menor que a necessidade da cultura. Visando reduzir a variabilidade climática da maioria das regiões, principalmente por terem regimes de chuvas alterados e bem variáveis a cada ano, torna-se cada vez mais necessário o uso da irrigação para reduzir os riscos com a deficiência hídrica, tentando minimizar as perdas e elevar a produtividade. Segundo Azambuja (1996), o déficit hídrico afeta de maneira negativa a produtividade, e por consequência minimiza os lucros do produtor, comprometendo toda a cadeia agrícola e pecuária.

Com o alto índice de crescimento na demanda por alimentos, é evidente a preocupação do setor agrícola em aumentar sua produção para suprir a demanda. A constante evolução tecnológica na mecanização e produtos biológicos cada vez mais específicos trazem para o produtor uma visão de que para aumentar sua produção basta somente adquirir as novas tecnologias disponíveis.

A irrigação por pivô central, é uma técnica que vem crescendo constantemente nos últimos anos. A implantação da tecnologia exige o conhecimento de parâmetros essenciais do solo, base da produção. Muitos produtores fazem alto investimento para a aquisição e licenciamento do equipamento e da fonte hídrica, sem levar em consideração esta base produtiva.

Como parâmetros de solo imprescindíveis para serem determinados antes de se iniciar a irrigação, pode-se citar: a infiltração de água no solo, a densidade do solo, a resistência a penetração e a condutividade hidráulica. O conhecimento destes parâmetros irá auxiliar no dimensionamento do equipamento e na definição da lâmina de irrigação. Além de fornecer informações importantes relacionadas ao consumo de água. Como exemplo, a falta de conhecimento da infiltração de água no solo, pode resultar em uma aplicação de lâmina de água superior a capacidade que o solo tem de infiltrar determinado valor, o que, está diretamente relacionado com a densidade do solo, com a capacidade de armazenamento, distribuição e continuidade de poros.

O processo de infiltração de água no solo, é dinâmico, definido como a passagem da água verticalmente através do perfil do solo. O conhecimento da velocidade de infiltração é importante para definir técnicas de manejo e conservação do solo, para o dimensionamento e escolha do sistema de irrigação, e também auxiliar na visão de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (BRANDÃO et al., 2009). A infiltração pode ser considerada como um dos mais importantes parâmetros físicos do solo, por interferir diretamente no ciclo hidrológico da região,

abastecendo os reservatórios subterrâneos e determinante para disponibilizar água para as culturas (BERTOL et al. 2001).

A taxa de infiltração inicialmente, em solo seco, é elevada, reduzindo no decorrer do tempo, chegando em um valor constante no instante em que o solo fica saturado. De acordo com Alves (2003) sob chuva ou por irrigação artificial, a infiltração aproxima-se de um valor constante conhecido como velocidade de infiltração básica ou taxa de infiltração básica.

Segundo (FAGUNDES et al., 2012) vários métodos de campo têm sido utilizados para determinar a velocidade de infiltração (VI) de um solo, dentre eles pode-se destacar o método do infiltrômetro de anel, por ser simples e de fácil execução.

A determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples, capazes de representar de forma adequada as condições em que se encontra o solo. Para isso, é necessário usar métodos, cuja determinação baseia-se em condições semelhantes àsquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido (PRUSKI et al., 1997).

É comum relacionar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes (Rosemberg, 1964).

Assim como para outras características físicas, a densidade de solo e resistência a penetração influenciam as propriedades relacionadas com o fluxo de água no solo. Uma vez alteradas, podem gerar mudanças nas propriedades associadas à condutividade hidráulica e infiltração de água no solo (Reynolds et al., 1994; Bagarello, 1997).

A degradação física do solo evidenciada pelo aumento na densidade do solo resulta em modificações no sistema poroso com efeitos danosos às plantas. Isso decorre da redução da porosidade total do solo, reduzindo as trocas de gases entre o solo e a atmosfera e aumentando a resistência à penetração, o que poderia atuar como fator limitante ao crescimento das plantas dentro da faixa de água disponível (Letey, 1985; Topp et al., 1994).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar três parâmetros físicos dos solos irrigados por pivô central no município de Manoel Viana, RS, sendo eles: Densidade de solo, resistência à penetração e velocidade de infiltração.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Irrigação

Atualmente a irrigação é envolvida por um sistema bem complexo de técnicas, com um conceito mais amplo no agronegócio, sendo uma estratégia no aumento da produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola. A irrigação passou não só de uma forma de estabilidade produtiva, mas uma preocupação mais sustentável preservando o meio ambiente e tentando manter o homem no campo.

O território agrícola do Brasil é de 350 milhões de hectares, sendo que, destes, apenas 5,9% são utilizados com irrigação, ocupando cerca de 5,4 milhões de hectares (MOREIRA & RODRIGUES, 2013). Dados do IBGE (2006 - 2010) apontam que os sistemas pressurizados predominam, com 70% do total, sendo distribuídos em 50% da aspersão convencional, 27% pivô central, 11% irrigação localizada e 12% de outros sistemas (manual/mecanizada).

A irrigação teve um avanço no ano de 1980 onde o governo lançou o Programa de Financiamento de Equipamentos para a Irrigação (PROFIR) e o Programa Nacional de Irrigação (PRONI), tendo em vista o principal objetivo de aumentar a produtividade sem a necessidade de aumentar a área plantada. O principal equipamento utilizado seria o pivô central como fonte de distribuição hídrica. Outro objetivo destes programas seria a melhoria da qualidade dos solos, permeabilidade, cobertura vegetal e possível assoreamento das áreas poluindo as fontes hídricas (BARBALHO & BARBALHO, 2006).

A tecnologia da irrigação pode ser aplicada de forma total ou suplementar. A irrigação total é considerada como se a totalidade da água disponível a cultura é fornecida através da irrigação, praticada em regiões áridas ou desérticas, em que a precipitação é insignificante. No dimensionamento do projeto de irrigação é utilizado a maior demanda diária que ocorrerá durante o ciclo da cultura, ou seja, maior demanda hídrica potencial da cultura (BERNARDO, 2006).

Este mesmo autor cita ainda que para a irrigação suplementar, a água fornecida pelo sistema de irrigação será um complemento na precipitação efetiva, atendendo a demanda evapotranspirométrica da cultura. Para o dimensionamento do sistema de irrigação, usa-se a precipitação provável com 75 ou 80% de probabilidade de ocorrência. Para o manejo da irrigação usa-se a precipitação efetiva ocorrida no intervalo entre duas irrigações consecutivas. A precipitação é considerada como a parte da precipitação que é utilizada pela cultura para atender sua demanda evapotranspirométrica, ou seja, é a precipitação total menos a parte que escoou sobre o solo e a parte que percola abaixo do sistema radicular.

Existem atualmente várias pesquisas que demonstram o acréscimo na produtividade quando se aplica irrigação.

Soares (2010) trabalhando com irrigação por pivô central na cultura do milho, encontrou uma produtividade de 15000kg/ha. Colussi (2014) relata o aumento de produtividade de 70 sc/ha da cultura do milho não irrigado, para 270 sc/ha, na região noroeste do Rio Grande do Sul, quando se utilizou um sistema de irrigação do tipo pivô central.

Segundo dados apresentados durante o Showtec 2013 em Maracaju (MS), a irrigação aumenta a produtividade da soja em 60%, com rendimento de até 80 sacas por hectare, superior as 50 sacas por hectare da oleaginosa cultivada sem a irrigação. Com o milho o resultado chega a 6 toneladas de grão por hectare, 57% acima das 3,8 toneladas por hectare sem a tecnologia.

No Rio Grande do Sul, as lavouras de soja que utilizam a irrigação tiveram, em média, incremento de produtividade de 12,7% na safra de 2013/2014, enquanto as áreas de milho tiveram aumento de 10,3% no mesmo período. Em algumas propriedades, o ganho de produtividade alcançou picos de 24%. Estes resultados foram divulgados pelo Clube da Irrigação durante o III encontro de irrigantes por aspersão do Rio Grande do Sul, em Cruz Alta.

No momento em que o produtor decide fazer irrigação, vários parâmetros precisam ser analisados na propriedade. No manejo ideal de um projeto de irrigação devem-se considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e tentar buscar a maior produtividade e eficiência de aplicação de água, mantendo um ambiente favorável ao bom desenvolvimento da cultura irrigada.

Com a tendência do aumento natural do uso da água no futuro, seja pelo aumento populacional, culminando em uma maior necessidade por alimentos, seja pela disponibilidade de terras com aptidão para uso na agricultura irrigada estimadas em 470 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2002). É importante a percepção do irrigante que a irrigação não é somente a captação e a condução de água, ou somente a aplicação em uma parcela, mas uma série de procedimentos integrando a relação solo-água-planta e clima. Caso essa integração seja desconsiderada, por falta de conhecimento, ou, por um mau planejamento do irrigante, a eficiência e vida útil do projeto serão afetadas.

Quando se adquire o sistema de irrigação é necessário um conhecimento dos métodos de irrigação, sabendo a eficiência de aplicação de água. Essa eficiência, de modo geral, é a quantidade de água a ser aplicada e a real quantidade total disponibilizada à cultura. Se tratando de aspersão as perdas são maiores no momento da aplicação, dependendo geralmente dos fatores climáticos, principalmente o vento, causando desuniformidade na aplicação e do equipamento em uso. A irrigação utilizada de forma racional pode promover uma economia de aproximadamente 20 % da água e 30 % da energia consumida. Do valor relativo à energia, a economia de 20 % seria devido à não aplicação excessiva da água e 10 % devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

A eficiência de irrigação, tomada como a razão entre quantidade de água efetivamente usada pela cultura e a quantidade retirada da fonte, no âmbito mundial, é ainda muito baixa, situando-se, em termos médios, em torno de 37%. A simples melhoria de 1% na eficiência no uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento de clima semi-árido, ou árido, significaria uma economia de 200 mil litros de água, por agricultor, por hectare/ano (COELHO, 2005).

Embora os grandes benefícios advindos do uso da irrigação sejam incontestáveis, é preciso ter em mente que os projetos de irrigação podem causar impactos adversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água, à saúde pública e ao aspecto sócio-econômico da região (SILVA & PRUSKI, 1997).

De acordo com Bernardo (1984), existem três principais métodos de irrigação, sendo, irrigação por superfície, irrigação localizada e irrigação por aspersão.

2.1.1 Irrigação por superfície

O sistema de irrigação por aspersão convencional é muito utilizado em pequenas e médias propriedades, devido a sua ampla aplicabilidade. Nesse sistema, a água é aspergida sobre as plantas, simulando uma precipitação natural (chuva), por meio de vários aspersores que funcionam simultaneamente numa mesma linha lateral. Esse sistema tem um consumo médio de energia e muita exigência em mão de obra para mudanças de linhas. Além disso, apresenta valores de eficiência de uniformidade da ordem de 75 a 90% (MANTOVANI, et al. 2009).

Christiansen (1942) afirma que o objetivo principal da irrigação por aspersão é distribuir água no solo na forma de chuva de baixa intensidade, de tal maneira que possa ser infiltrada sem escoamento superficial. A uniformidade de distribuição vai depender do perfil de distribuição produzido pelo aspersor que, por sua vez, é função da velocidade do vento, da pressão de serviço, da uniformidade de rotação, da altura de elevação e do diâmetro do bocal e espaçamento entre aspersores.

O rendimento da cultura está relacionado com a uniformidade de distribuição da água aplicada, enquanto Jensen et al. (1967) mencionam que a avaliação do desempenho do sistema de irrigação também serve para calcular o tempo de irrigação e a lâmina de água aplicada (CHRISTIASSEN, 1942 & DAKER1970).

Em casos de sistematização, por estes sistemas necessitarem de muito revolvimento do solo, solos rasos tem problemas de exposição do subsolo. Necessitando de um bom conhecimento de técnicas conservacionistas, minimizando assim os danos físicos.

A vazão deste sistema é superior aos demais, sendo a que mais necessita de água. Tendo que, pode variar de 2 a 5 litros/segundo por hectare, por ter grande volume de água na área, solos instáveis, em irrigação por superfície desenvolvem crateras causando grandes perdas de solo, se tornando impróprios para este método de irrigação.

2.1.2 Irrigação por gotejamento e microaspersão

Consiste no sistema em que a irrigação é aplicada no solo em áreas próximas ao sistema radicular, em pequenas quantidades e alta frequência, mantendo a área próxima à zona radicular em capacidade de campo.

Gotejamento e microaspersão diferem entre si quanto a aplicação de água, as vazões variam, um aplica gota a gota e o outro por pulverização. As tubulações são normalmente de PVC e tubulações flexíveis de polietileno, nas quais sendo inseridos os emissores, trabalhando com uma pressão entre 5 e 25mca. A implantação deste sistema tem um alto custo, portanto, deve-se utilizar em culturas que tenham um grande retorno financeiro em uma área relativamente pequena.

No gotejamento a aplicação é somente em um ponto, ficando sobre o solo uma área molhada em forma de círculo, e seu volume em forma de bulbo. Dependendo da distância entre os gotejadores, pode ocorrer uma linha ou faixa de molhamento. Na microaspersão, por consequência dos emissores distribuírem a água em forma de disco sobre o solo, formam áreas circulares ou faixas de molhamento.

A área molhada do solo é somente em partes, o que diminui a evaporação direta da água do solo para a atmosfera, em comparação com a aspersão convencional.

Em geral, a irrigação localizada é somente utilizada de forma fixa, o sistema é constituído de linhas laterais em que sua quantidade varia conforme a necessidade da área. As linhas laterais funcionam em partes, tentando minimizar a capacidade do cabeçal de controle.

A grande vantagem deste sistema são a maior eficiência de aplicação, permite maior controle da lamina de água aplicada diminuindo as perdas por evaporação, maior eficiência no controle fitossanitário, adaptação em diferentes tipos de topografia e economia na mão-de-obra.

2.1.3 - Irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão é o método de irrigação que mais se assemelha a precipitação da chuva sobre a superfície do solo, a água é pulverizada em pequenas gotas devido a pressão existente no interior do sistema e pelos orifícios ejetores onde a água passa.

A textura do solo tem grande influência na adoção deste sistema, preferencialmente os solos arenosos e franco-arenosos, tendo maior vantagem por armazenarem uma menor quantidade

de água e terem grande capacidade de infiltração. Também possuem a necessidade de irrigações mais frequentes e com menor quantidade de água, sendo uma vantagem do sistema.

Os fatores climáticos podem prejudicar a eficiência de aplicação do sistema de aspersão. O vento interfere na uniformidade de distribuição de água e, juntamente com umidade relativa e a temperatura influencia a evaporação e arrastamento da água. Portanto em regiões onde a incidência de ventos, temperatura elevada e baixa umidade relativa, o sistema de aspersão não é recomendado. Outra limitação é a fonte de água contendo sais, em que pode reduzir a vida útil do equipamento e causar danos na parte vegetativa das plantas.

Os sistemas de irrigação por aspersão são classificados por sua tubulação, o modo de instalação no campo, tipos de engates e conexões, a movimentação e o manejo. Dentre todos os sistemas existem dois que mais se destacam, sendo eles, sistemas móveis e sistemas fixos.

Os sistemas móveis possuem ao menos em parte tubulações portáteis, instaladas sobre o solo, permitindo a movimentação da linha lateral sobre diversas áreas do projeto, dependendo das necessidades em quantidade de água e turno de irrigação. Podem ser movimentados manualmente ou por mecanismos mecânicos. A movimentação manual do sistema tem sido um limitante, pela falta de mão-de-obra, dificultando e encarecendo a adoção do sistema móvel.

Sistemas fixos tem a capacidade de irrigar toda a área sem a movimentação das tubulações, podem ser divididas em fixo-móveis em que a tubulação permanece no campo somente durante o ciclo da cultura, ou, fixo-permanentes onde a tubulação é enterrada no solo permanecendo continuamente na área. Possuem a vantagem em relação ao móvel pela mínima necessidade de mão-de-obra, sendo cada vez mais automatizados.

Dentre os métodos de aspersão podem ser citados: convencional, convencional/ fixo, rama volante, autopropelido, sistema linear e pivô-central. Para ser escolhido um método de irrigação devem ser considerados vários fatores: tipo de cultura, rotação de culturas, topografia, vazão, intensidade dos ventos, disponibilidade e emprego de mão de obra especializada, dificuldade de assistência técnica, potencial para automação e capacidade de investimento, entre outras (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008).

Uma das vantagens é a grande possibilidade de adaptações do sistema, tendo uma redução na mão de obra e um sistema simples de manuseio, caracterizado por tubulações móveis de engate rápido ou fixo e enterrado, irrigando geralmente pequenas ou grandes áreas (BERNARDO, 2009).

Seja qual for o método escolhido, a irrigação é adotada para a garantia da produção evitando perda de produtividade, superando as estiagens e as deficiências hídricas. Garantindo lucros e eficiência do uso da água, a escolha do método deve ser avaliada rigorosamente. E ainda,

a consideração das condições da propriedade, como clima, tipo de cultura, caracterização do solo e do terreno, suprimento de água e fatores sociais e econômicos, bem como aspectos legais.

No que se refere a estabilidade de produção proporcionada pelo uso da irrigação por aspersão, estimula o aumento de qualificação técnica e adota um nível elevado de técnicas para aumentar a eficiência do equipamento. Em certas regiões agrícolas o emprego desta tecnologia está gerando alta demanda dos mananciais devido ao grande número de equipamentos instalados e suas dimensões (BRAGA & OLIVEIRA, 2005).

Segundo Folegatti et al. (1998), dentre os vários sistemas de irrigação, o tipo pivô central tem tido grande aceitação devido às suas características, que permitem a automatização da irrigação em extensas áreas, adoção de quimigação, não interferência nas operações agrícolas e possibilidades de aplicação de lâminas d'água e intervalos de tempo diversos, ajustados às reais necessidades da cultura.

O sistema de irrigação por pivô divide-se em: central, linear ou aspersão sobre rodas com deslocamento lateral e rebocável. Os sistemas central e linear caracterizam-se por irrigar grandes áreas, já o sistema rebocável, tem como característica irrigar áreas menores e ter a possibilidade de mudar de área.

Os pivôs são movidos por energia elétrica, possuem uma linha lateral que pode variar de comprimento de 200 a 800 metros (lineares e centrais) suspensa por torres no formato de treliças. Essas torres são acopladas em rodas, contendo motores que se movem individualmente.

Atualmente, com o desenvolvimento muito rápido de novas tecnologias as empresas já desenvolveram sistemas de alinhamentos capazes de se deslocarem sem intermitência, movimentando-se sem efetuar paradas, onde todas as torres se deslocam juntas sempre alinhadas efetuando aplicação contínua de água, porém, em quase todos os equipamentos instalados na região de estudo a movimentação ocorre em função do alinhamento e desalinhamento das torres. Estas torres ao se desalinharem provocam o acionamento das relés que acionam os motores gerando movimento nas rodas. O processo começa na última torre, vindo em direção ao centro do pivô, no momento que as torres se alinham o movimento cessa e passa a movimentar a torre seguinte.

A velocidade de deslocamento do pivô é medida em m/hora, porém para facilitar o manuseio é utilizado um “percentímetro”, localizado na caixa de comando do equipamento. A função dele é controlar a velocidade do equipamento não em m/hora mas em percentagem de tempo em movimento (BERNARDO, 2009).

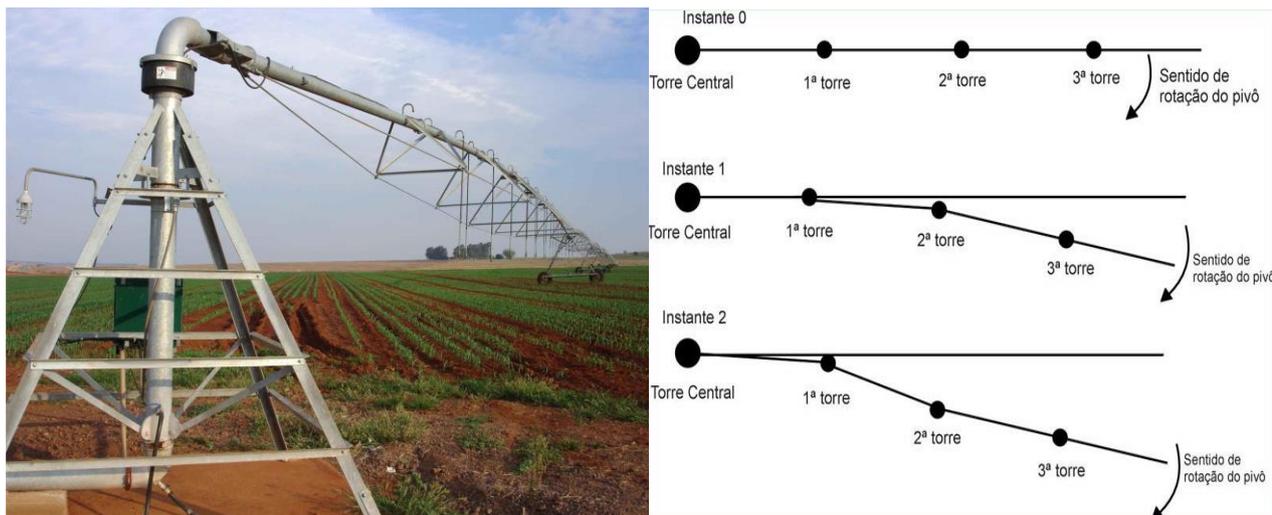


Figura 1- Ponto fixo do pivô e início da linha lateral mostrando esquema movimentação do pivô central. Fonte: AGRON, 2014.

A lâmina de irrigação de um pivô central é distribuída por aspersores do tipo emissores e é mínima quando está ajustado para 100% de sua velocidade, de acordo com a necessidade da lâmina este fator é alterado buscando um ajuste apropriado (BERNARDO, 2009).

Os emissores têm grande importância no dimensionamento do pivô, quanto mais se distancia do centro do equipamento as emissões de água devem ser maiores, consequência da maior velocidade das torres, tendo que irrigar uma área maior no mesmo período de tempo. Um problema que ocorre devido ao mal dimensionamento dos bocais é o escoamento superficial gerado nas extremidades do pivô, pelo alto volume aplicado. Uma solução seria a utilização de emissores com um maior alcance de jato para uma mesma pressão e vazão no emissor (BERNARDO, 2009).

A escolha dos emissores afeta diretamente a uniformidade de distribuição de água do pivô, sendo este um dos principais parâmetros de qualidade. Deve ser analisada a relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pelo espaçamento entre aspersores, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento (COSTA, 1988).

Além da uniformidade de distribuição de água, o dimensionamento correto do emissor, afeta na velocidade de infiltração de água do solo (VIB). Emissores com VIB superior a VIB do solo acarretam em desperdício de água e energia, além de causar escoamento superficial no solo. Desta forma, o adequado dimensionamento é um fator que contribui significativamente no momento de se utilizar a tecnologia.

Outra questão importante são os parâmetros físico hídricos. Os mesmos têm relação direta com a retenção, armazenamento e aproveitamento da água do equipamento. Dentre eles, pode-se citar a infiltração de água no solo, a resistência a penetração e a densidade do solo.

2.2 - Infiltração de água no solo

Basicamente a infiltração de água no solo é a penetração dela pela parte porosa do solo sendo basicamente alterada pela textura. Segundo BERNARDO (1989), sob chuva ou irrigação contínua, a velocidade de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante. Esse valor constante que a velocidade de infiltração atinge com o passar do tempo é conhecido por velocidade de infiltração básica (VIB).

Conhecendo a taxa de infiltração do solo pode-se definir técnicas de conservação do solo, fazer o planejamento do sistema de irrigação, e também realizar dimensionamento adequado sem que o sistema cause problemas de aeração do solo (FAGUNDES, 2012).

Booher (1974), realizando estudos diz que o dimensionamento e o manejo dos sistemas de irrigação por superfície necessitam de um estudo mais aprofundado das características de infiltração de água.

Com tanta variabilidade de solos existentes, a infiltração tem sido um dos parâmetros mais estudados ultimamente pelos profissionais. Entre as propriedades físicas do solo tem tamanha importância por ser diretamente ligada ao movimento de água e armazenamento de água no solo (CARVALLO, 2000).

Segundo Bertol et al. (2001) em áreas onde o plantio é feito de uma forma mais intensa há o problema de surgimento de camadas compactadas. BERTOL (2001) também conclui que, a compactação do solo ocasionado pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas ou pastejo intenso em solos úmidos é o principal fator que leva à degradação física. A compactação do solo vem sendo discutida devido ao aumento da mecanização no setor agrícola o que proporciona a desestruturação das partículas que formam os “torrões” do solo formando uma camada adensada, em que ocorre a redução no volume de poros e conseqüentemente a redução de armazenamento de água. Por conseqüência o favorecimento de escoamento superficial e redução de infiltração.

Um dos grandes problemas na determinação dos parâmetros físicos do solo é o elevado preço dos equipamentos e elevado tempo de execução dos procedimentos. Por isso, são tão desprezados nos processos de dimensionamentos dos sistemas de irrigação, conseqüentemente causando desperdício de água e gerar problemas físicos no solo (FIORIN, 2008)

A VI é um processo que depende diretamente da textura e estrutura dos solos, solos arenosos comparados com argilosos, os índices de infiltração são bem maiores. Por conseqüência

de certos fatores como, umidade do solo, época de irrigação, porosidade, cobertura vegetal, a VI pode variar em um mesmo solo.

Com o decorrer do tempo a taxa de infiltração diminui, atingindo então um valor quase constante, chamada de velocidade de infiltração básica (VIB). Em irrigação a VIB é de total importância, pois ela indicará quais os métodos de irrigação mais adequados a serem utilizados naquele solo, bem como determinará a intensidade de aplicação de água máxima que poderá ser permitida na irrigação por aspersão (BERNARDO, 2011).

Em áreas irrigadas por pivô central, a VIB é importante em que limita a lâmina máxima a ser aplicada. Quando esta ultrapassa a VIB terá o acúmulo de água sobre a superfície do terreno e podendo ocorrer o escoamento superficial, o que foge dos princípios de projeto que busca uma boa eficiência de aplicação.

2.3 - Fatores que influenciam na infiltração de água no solo

A infiltração nem sempre pode ser a mesma para o mesmo tipo de solo, a variabilidade textural dos solos agrícolas varia muito, sendo que o manejo do solo é um dos principais fatores que alteram a velocidade de infiltração de água no solo.

O tipo e a quantidade de cobertura do solo, por evitar um direto impacto direto das gotas de chuva e pela formação de canais preferenciais formados pelo sistema radicular das plantas, são fatores determinantes do processo de infiltração (FARIA et al., 1998).

A entrada de água no solo depende, segundo Musgrave (1955), das condições da superfície e quantidade de proteção contra o impacto das gotas da chuva, características internas da massa do solo, incluindo tamanho dos poros, profundidade da camada permeável até o horizonte adensado, expansibilidade da argila e colóides, conteúdo da matéria orgânica, grau de agregação, conteúdo de umidade do solo, grau de saturação, duração da chuva ou aplicação da água e temperatura do solo e da água.

A adoção de sistemas de manejo sem revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície, favorecem o contínuo aporte de carbono orgânico, o que é fundamental para a manutenção de uma estrutura de boa qualidade (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

A cobertura do solo normalmente presente no plantio direto acumula maior teor de matéria orgânica próximo à superfície, aumentando a capacidade de retenção de água, especialmente em solos arenosos (ABRÃO et al., 1979), diminui as variações da temperatura do solo e a evaporação da água e eleva a taxa de infiltração (BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990).

De acordo com Kertzman (1996), em sistema de plantio direto, o solo apresenta redução da taxa de infiltração quando comparado a condição natural do mesmo. Isso, segundo

Zimmermann (2001) pode estar relacionado a influências negativas das propriedades físicas do solo neste sistema de plantio, como o aumento da densidade do solo e a resistência mecânica a penetração das raízes, diminuindo a infiltração de água no solo.

O sistema de preparo convencional, em geral, promove um intenso revolvimento do solo na camada superficial, o que pode favorecer a decomposição da matéria orgânica, ocasionando considerável efeito prejudicial na qualidade estrutural do solo. A presença de camadas compactadas em subsuperfície, nesses sistemas de manejo, reflete uma degradação estrutural com aumento da densidade e reduções do tamanho médio dos agregados, volume e tamanho dos macroporos, taxa final de infiltração de água e desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Com o aumento da densidade do solo, diminui a infiltração de água, e os valores críticos dessa propriedade variam de acordo com a classe textural do solo, indicando limites críticos de densidade do solo para solos franco-arenoso, franco argiloso e francos de 1,41 a 1,53 Mg m³ e para solos franco siltosos de 1,25 a 1,46 Mg m³ (DIEBOLD, 1954).

Em física do solo, a qualidade está associada ao solo em que permite infiltração e retenção e disponibilidade de água às plantas, responde ao manejo e resiste à degradação. Segundo Alves & Cabeda (1999), a infiltração de água é um dos fenômenos que melhor refletem as condições físicas internas do solo, pois uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo. Com relação à densidade do solo, quando ocorre a degradação de sua estrutura, o efeito imediato é no seu aumento, acarretando a redução da macroporosidade.

2.3.1 - Métodos para determinação de infiltração

O recomendado é que a determinação de infiltração básica seja executada *in situ*, forma mais representativa e precisa possível. No entanto, com toda a variabilidade espacial em que são submetidos os solos, a execução dessas recomendações tem se tornado cada vez mais em laboratórios em que os resultados se acham envolvidos por muitos questionamentos. Os principais equipamentos utilizados para se determinar a infiltração de água no solo são o infiltrômetro de anéis concêntricos e o infiltrômetro de aspersão.

2.3.1.1 Infiltrômetro de anéis concêntricos

Fagundes (2012) cita que existem vários métodos de determinação da infiltração básica à campo, mas o que mais se destaca pela sua simplicidade e fácil manuseio é o método do infiltrômetro de anel.

É composto por dois anéis concêntricos, um anel metálico maior, e outro menor, cravados no solo de maneira concêntrica (BERNARDO et al. 2006). No cilindro externo um cuidado é manter a carga de água semelhante à do interno. A velocidade de infiltração é dada pela variação entre duas leituras consecutivas, de acordo com o intervalo de tempo entre as mesmas (NUNES, 2012).

O abastecimento do anel interno será feito por um tubo vertical apoiado em um tripé, contendo registro na parte inferior e superior. O tubo possui uma parte transparente milimetrada para coleta dos valores de infiltração. Será mantido uma lâmina de água de aproximadamente de 0,10 m no cilindro interno, dando uma condição de carga hidráulica constante. O anel externo será abastecido por meio de mangueiras por não ter necessidade do conhecimento do volume de água utilizado, mantendo uma lâmina de água semelhante à do anel interno.

Após a limpeza do solo são colocados os cilindros no solo, coloca-se água nos cilindros, externo e interno, com leituras realizadas somente no cilindro interno, pois o externo só é utilizado para evitar a infiltração lateral.

2.3.1.2 Infiltrômetro de aspersão

O simulador de chuvas é considerado o método de determinação da infiltração de água no solo que melhor representa uma realidade local. Dessa forma, deve simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas (PRUSKI, 1997).

O escoamento superficial é obtido pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental. A lâmina infiltrada é medida pela diferença entre a lâmina de água aplicada e a lâmina do escoamento superficial, sendo que em testes de curta duração a evapotranspiração e a transpiração serão desprezadas.

2.4 - Resistência a penetração

A compactação do solo é um dos principais limitantes no desenvolvimento radicular das plantas. A diminuição da área radicular afeta diretamente a absorção de água e nutrientes do solo, ocorrendo um menor desenvolvimento das plantas e por consequência, reduzindo a produção.

Segundo Flowers & Lal (1998), a principal causa da compactação dos solos é o tráfego de máquinas em operações de preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita. Os pneus da frota agrícola no Brasil são na maioria pneus de banda diagonal, ou seja, pneus com a parte lateral (carcaça) rígida. Essa rigidez dificulta que o pneu se molde no solo de acordo com as irregularidades do terreno, gerando uma maior força compactadora.

A compactação subsuperficial é gerada a partir da carga total por eixo e a compactação superficial é função da pressão de inflação dos pneus (SALIRE et al., 1994). Conforme VOORHEES et al. (1986), as máquinas agrícolas com carga por eixo acima de 4,5Mg causam aumento de resistência à penetração e densidade do solo a profundidades maiores que 30cm, sendo, necessário máquinas de grande potência e uma maior demanda de combustível para romper estas camadas.

É muito complexo afirmar que um valor crítico de compactação para todos os tipos de solos e para cada cultura, por isso, é adotado um valor crítico ao desenvolvimento de raízes; tradicionalmente, o valor de 2Mpa. Este valor tem sido aceito como limite de resistência mecânica do solo à penetração (TAYLOR et al., 1966; NESMITH, 1987).

De acordo com Smucker & Erickson (1989), o fenômeno de compactação tem os dois lados, benéficos e malefícios. Como benefício, os autores citam, que no que se trata de contato da semente com o solo, possibilita maior uniformidade na germinação e aumento na disponibilidade de água em anos mais secos, aumentando também os macroporos, fazendo que o solo armazene maior quantidade de água e melhore a infiltração, reduzindo os riscos de escoamento superficial. Já como malefício, pode-se destacar o impedimento mecânico das plantas em expandir as raízes no solo, diminuição da parte gasosa do solo, diminuindo a capacidade de armazenamento de água, redução na taxa de infiltração e aumento na potência necessária para preparo do solo.

Com a intensão de não haver compactação no solo, Bicki & Siemens (1991) dizem, que pode em solos compactados limitar a adsorção ou absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a produtividade, aumentando a erosão e aumentando a potência necessária para preparo do solo.

A compactação seria a porta de entrada para vários problemas físico-hídricos do solo, como a densidade do solo, a porosidade e parâmetros hídricos, gerando problemas de disponibilidade de água as plantas. Segundo Watanabe et al (2000), em sistema plantio direto,

devido ao mínimo revolvimento do solo, aliado ao intenso tráfego de máquinas, gera uma compactação superficial e modifica as propriedades físicas desejadas no solo.

Os preparos convencionais rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente na resistência dos agregados do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Estes sistemas de preparo aumentam o volume de poros dentro da camada preparada (BERTOL et al., 2000), a permeabilidade e o armazenamento de ar e facilitam o crescimento das raízes das plantas nessa camada (BRAUNACK & DEXTER, 1989), em relação à semeadura direta e ao campo nativo. No entanto, abaixo da camada preparada, contrariamente ao que ocorre na semeadura direta e no campo nativo, essas propriedades apresentam comportamento inverso da superfície (DALLA ROSA, 1981; BERTOL et al., 2000).

Um dos ensaios mais usados para estudar a compactação do solo em laboratório tem sido o ensaio de Proctor normal. Por meio deste ensaio, Raghavan et al. (1990) observou que a umidade ótima de compactação indica o momento em que o trator começa a derrapar, o que contribui significativamente para o aumento da compactação do solo. Por essa razão, resultados mais aprofundados necessitam de estudos adicionais, que visem obter melhor entendimento de como o grau de compactação do solo afeta a curva característica de água do solo e, conseqüentemente, a dinâmica de água do solo.

2.5 - Densidade do solo

A densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA & ANDERSON, 2005).

Entre os vários atributos do solo que interferem no manejo de irrigação e crescimento vegetal, a densidade do solo pode ser considerada a principal, sendo muito importante sua medição em projetos de irrigação e drenagem. A densidade do solo é um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipos de culturas (AMÉRICO, 1979). A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações influem nas propriedades físico-hídricas importantes, tais como: a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998).

Segundo Beltrame e Taylor (1980), as causas naturais das alterações na densidade do solo são difíceis de serem definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como por exemplo, a eluviação de argilas, e as antrópicas que são as forças mecânicas originadas da pressão causada

pelos rodados das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo. O tráfego excessivo realizado indiscriminadamente sob diferentes condições de umidade do solo é o principal responsável pelo aumento da densidade do solo.

A escolha do método para a determinação da DS leva em consideração aspectos como quantidade do material a ser analisado, disponibilidade de equipamentos e exatidão requerida na determinação (FLINT & FLINT, 2002), bem como praticidade e tempo de processamento.

Um dos métodos mais utilizados para determinação da densidade dos solos é o método do anel volumétrico. Usa-se o anel de kopeck, de bordas cortantes e capacidade interna conhecida, geralmente de 100 cm³.

De maneira geral, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e a estrutura degradada, menor sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição do estudo

O município de Manoel Viana fica localizado na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Seus limites territoriais são com os Municípios de Alegrete, Maçambará, Itaqui e São Francisco de Assis. Tem área territorial de 1391 Km², com cerca de 1,58% de agricultura implantada, onde a soja predomina com 57,51%, seguido do arroz com 24,19% e milho com 6,7% da área agrícola do município (DEEPASK, 2010).

O relevo é levemente ondulado com declividades, predominantemente, próximas de 5%. O substrato é de rochas vulcânicas e os solos gerados são rasos. A região possui clima subtropical, com temperaturas elevadas durante o verão e durante o inverno podendo chegar a valores negativos. A precipitação média da região é em torno de 1700 mm por ano (ROBAINA, 2013).

Buscando saber os produtores que utilizavam o pivô central em suas propriedades, foi realizado junto ao Sindicato Rural de Manoel Viana, RS e a EMATER um levantamento visando identificar e poder realizar um meio de comunicação. Foi constatado que havia cinco produtores irrigantes no município, totalizando doze pivôs.

3.2 Levantamento de dados

Após a obtenção do número de equipamentos, foram realizadas visitas aos produtores, onde inicialmente foi explicado o propósito do trabalho e buscar interagir com os mesmos, após isso, foi iniciado os ensaios nas áreas irrigadas. Foram identificados 12 pivôs no município de Manoel Viana, mas em função do tempo, os ensaios foram realizados em 7 equipamentos.

3.2.1 - Infiltração de água no solo

Identificados os equipamentos de irrigação em cada área de pivô central foram realizados três ensaios de infiltração de água no solo. As áreas dos pivôs foram divididas em 3 fatias, onde foi realizado um ensaio em cada fatia. Na primeira fatia, o ensaio foi no primeiro lance, na segunda fatia, no lance do meio e na terceira fatia no último lance do equipamento.

Para realização dos ensaios foi utiliza o método do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante, conforme descrito na revisão de literatura.

Para iniciar os testes, foi colocada água até a altura de 0,075m de lâmina de água. Após isso começa a contar o tempo, mantendo a carga hidráulica de 0,075m no anel interno e 0,05m no anel externo, o ensaio teve duração de 4 horas. As coletas de dados ao longo das 4 horas de ensaio foram feitas em intervalos de tempo diferentes, sendo que os tempos foram: duas coletas de

15min, duas de 30min, duas de 45min e uma de 60min, após a coleta dos dados foi montada uma planilha para processamento dos mesmos.

A taxa de infiltração (TI) foi calculada de acordo com a equação 1:

$$TI(\text{mm.h}^{-1}) = \frac{I(\text{mm}) * 60}{\Delta T(\text{min})} \quad (1)$$

Em que, TI= taxa de infiltração (mm/h), I= infiltração no cilindro no intervalo de tempo ΔT (mm), ΔT = intervalo de tempo entre as coletas de infiltração (min).

Após a obtenção da taxa de infiltração nos diferentes tempos, foi construído um gráfico da relação entre a taxa de infiltração (y) x tempo (x). A velocidade básica de infiltração (VIB), foi calculada a partir da equação da linha de tendência ajustada pelo gráfico. Os ajustes obtidos foram equações potenciais (equação 2) e polinomial (equação 3). Para obter o valor da VIB substituiu-se a variável “x” da equação pelo tempo em horas do ensaio.

$$Potência \quad (2)$$

Em que, A= valor gerado pelo gráfico, X= tempo do ensaio (horas), B= valor gerado pelo gráfico.

$$Polinomial \quad (3)$$

Em que, A, B e C= valor gerado pelo gráfico, X= tempo do ensaio (horas).

Com os resultados obtidos no decorrer dos ensaios, os valores de VIB foram classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Classificação da velocidade de infiltração básica do solo (VIB) (Bernardo, 2008).

VIB	INFILTRAÇÃO
Solo de VIB muito alta	> 30 mm/h
Solo de VIB alta	15 – 30 mm/h
Solo de VIB média	5 - 15 mm/h
Solo com VIB baixa	< 5 mm/h

3.2.2 Densidade do solo

As amostras de solo coletadas foram indeformadas, com o auxílio de um extrator, acoplado um anel metálico de volume conhecido. Foram feitas três trincheiras em cada pivô, uma na

primeira seção, seção média e última seção, em cada profundidade foi coletado três repetições, onde as profundidades são: 10cm, 20cm, 30cm e 40cm, totalizando 36 amostras por pivô, após retiradas do solo foi feito o toailete, retirando o excesso de solo, deixando as extremidades parelhas com a borda do anel e retirando solo contido no exterior do anel, posteriormente as amostras foram identificadas e embaladas em papel filme para não perder umidade e solo. As amostras foram levadas para laboratório, pesadas e levadas para estufa a 105°C, até completamente secas, retiradas da estufa foram pesadas novamente.

Para determinar-se a densidade do solo, basta apenas aplicar a seguinte fórmula, onde:

$$D_s = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Em que: D_s : densidade do solo, M : massa da amostra e V : volume da amostra.

Os valores de densidade de solo foram analisados com auxílio do programa estatístico Assistat, onde foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3.2.3 Resistência a penetração

Para a resistência a penetração foi utilizado um penetrômetro digital. O mecanismo é acionado por uma haste que contém um cone na sua extremidade com diâmetro de dez milímetros, sendo registrada essa resistência à penetração em uma célula de carga contida na parte superior da haste no equipamento.

Foram realizados testes na primeira, média e última seção do pivô, com três repetições em cada seção. O penetrômetro registra leituras até 50 cm de profundidade. Os dados referentes ao penetrômetro foram extraídos e analisados a uma profundidade máxima de 50 cm. O gráfico representativo de resistência à penetração foi obtido através do Software PenetroViewer 6.08.

De posse dos resultados, foi realizada a classificação da resistência a penetração, conforme metodologia descrita por Soil Survey Staff (1993), citada por Beutler et al. (2001).

Tabela 02 - Classes de resistência do solo à penetração.

Classe	Resistência à penetração (Mpa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
Baixa	0,1 - 1,0
Moderada	1,0 - 2,0
Alta	2,0 - 4,0
Muito alta	4,0 - 8,0
Extremamente alta	> 8,0

Os valores de resistência à penetração foram analisados com auxílio do programa estatístico SASM - Agri, onde foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas as avaliações em 7 pivôs, sendo que, cada pivô foi denominado de “Área”, sendo eles: área 1, área 2, área 3, área 4, área 5, área 6 e área 7. Para cada área definiu-se a localização, posicionamento das coordenadas, total da área irrigada (ha) e culturas instaladas. A seguir, são apresentados os dados de densidade de solo, resistência à penetração e taxa de infiltração, com a análise e discussão dos resultados obtidos.

4.1 ÁREA 1

A área localiza-se a uma distância de 7,3 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 2). Apresenta coordenadas geográficas de 29°31'51.91"S e 55°26'56.06"O, totalizando 90 hectares de área irrigada. Como histórico de cultivo, a mesma foi utilizada, somente com agricultura, o sistema de irrigação foi instalado há 5 anos, onde realiza-se sucessão de culturas de verão: Soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e culturas de inverno: aveia (*Avena sativa*) e azevém (*Lolium multiflorum*).



Figura 2: Localização da Área 1.

4.1.1 Densidade de solo (DS)

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados, seguidos da análise estatística.

Tabela 3: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,47a	1,47a	1,40a	1,49ab
Central	1,47a	1,51a	1,49a	1,43a
Externo	1,46a	1,41a	1,44a	1,65b
Média	1,46	1,46	1,44	1,52
CV (%)	5,14	4,41	3,55	5,19

De acordo com a tabela 3, observa-se que, ocorreu diferença estatisticamente significativa somente na profundidade de 40cm, onde, o ponto interno teve o menor valor $1,40\text{g/cm}^3$, e o externo teve o maior valor e chegou a $1,65\text{g/cm}^3$. Segundo observado nas coletas, no ponto externo na camada de 40cm, existia material pedregoso, e a resistência a penetração foi maior que nas demais (como pode ser observado a seguir), sendo este o motivo da diferença da densidade do solo.

4.1.2 Resistência à Penetração (RP)

A Figura 3, mostra o comportamento da RP (Mpa) obtida na Área 1.

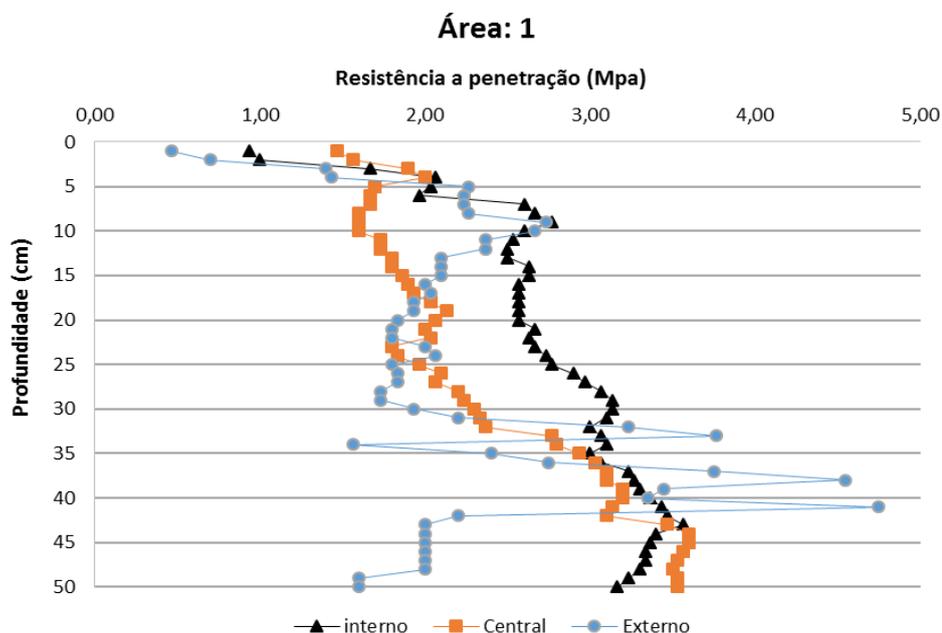


Figura 3: Valores de resistência à penetração obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 1.

Pode-se observar na figura 3, que os valores variam de 1,7 a 4,8Mpa, nos três ensaios, tendo um valor destacado dos demais no lance externo nos 40cm de profundidade. Este maior valor, confere com o ensaio de densidade do solo, o qual obteve valores mais elevados neste ponto (1,65g/cm³).

A tabela 4 apresenta os resultados os valores médios obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm, seguidos da análise estatística.

Tabela 4: Valores médios da Área 1, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	2,03a	1,67a	1,84a	1,84	24,94
10 – 20	2,56a	1,90a	2,07a	2,17	19,86
20 – 30	2,86a	2,05a	1,85a	2,25	25,39
30 – 40	3,15a	2,88a	2,60a	2,87	22,41
40 - 50	3,36a	3,45a	3,38a	3,39	60

De acordo com a tabela 4, observa-se, que a RP da Área 1 não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os pontos de coleta, apesar da camada dos 40cm do ponto externo ter um valor visivelmente maior.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a resistência à penetração variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à muito alta (4,0 - 8,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 5.

Tabela 5: Distribuição em percentagem da classificação da RP penetração nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	4	0	4
Moderada	4	42	48
Alta	92	58	44
Muito alta	0	0	4

Analisando a tabela 5, verifica-se que, a percentagem maior de RP para o ponto interno e central, classificou-se como “alta”, sendo que no ponto externo, foram distribuídos entre

“moderada” e “alta”. Salienta-se, que nesta área, ocorreu no ponto externo uma predominância de solo com uma camada de pedregulho, dificultando a penetração do equipamento.

Além disso, a sucessão de culturas, sem a inserção de uma cultura com sistema radicular agressivo, aliada ao fato do não tendo um revolvimento mecânico, leva o solo a sofrer um processo natural de compactação.

Em uma área com plantio direto implantado, foi verificado por Abreu et al (2004) que ao decorrer dos anos, a DS e a RP sofriam aumento. Foram comparados dois processos de melhoramento físico na área de estudo com um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, um processo mecânico com escarificação e outro biológico utilizando a cultura da crotalária. Verificou que em médio prazo (ciclo da cultura utilizada com sistema radicular agressivo), no estabelecimento de poros condutores de água, o processo biológico foi mais eficaz que a escarificação. Em contrapartida, se o interesse for a redução de RP, os melhores resultados foram obtidos pela escarificação.

4.1.3 Infiltração de água no solo

A Figura 4 mostra o comportamento da taxa de infiltração nos dois pontos do pivô central. No ponto externo, não foi possível construir o gráfico, em função de não ter ocorrido infiltração ao decorrer do ensaio.

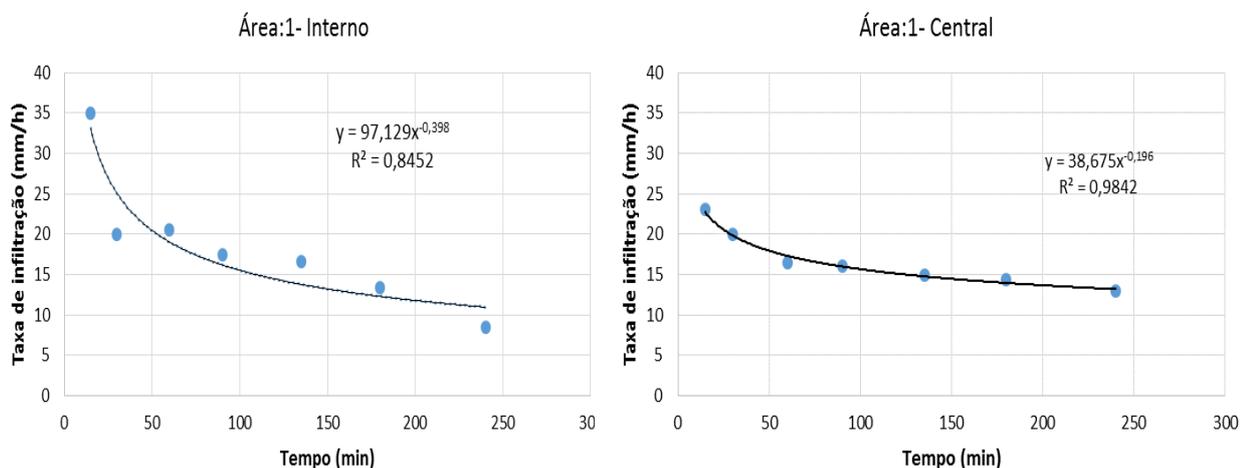


Figura 4: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na Área 1.

Pode-se observar na Figura 4, que no ponto interno, a taxa de infiltração iniciou com 35mm/h e no ponto central 23mm/h. Ao final do ensaio os valores caíram para 8,5 mm/h, 13 mm/h infiltração, respectivamente, quando ocorreu a possível tendência de estabilização.

Calculando a VIB destes pontos, os valores obtidos, foram de 56,33 mm/h para o interno e 29,47 mm/h. A classificação do ponto interno ficou como VIB muito alta (>30 mm/h), e do ponto central, VIB alta (15-30 mm/h) (BERNARDO, 2008).

O motivo do ensaio do lance externo ter dado infiltração zero, provavelmente, deve-se ao fato de existir uma camada compactada na profundidade a partir de 30 cm, como observou-se nos ensaios, a DS e RP.

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do teste foi de 0,12g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.2 ÁREA 2

A área com uma localização de 6,7 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 5). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°32'17.43"S e 55°27'17.74"O. Totalizando 110 hectares de área irrigada, instalado no ano de 2011, como histórico de cultivo, a mesma foi utilizada somente com agricultura, onde realiza-se a mesma sucessão de culturas da Área 1.



Figura 5: Localização da Área 2.

4.2.1 Densidade do solo

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados:

Tabela 6: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,19a	1,34a	1,34a	1,49b
Central	1,43ab	1,35ab	1,33a	1,17a
Externo	1,55b	1,55b	1,39a	1,50b
Média	1,39	1,41	1,35	1,38
CV (%)	9,85	3,89	7,84	6,99

De acordo com a tabela 6, onde que, somente na profundidade de 30cm não ocorreu variação estatística. Observado, constatou que o ponto interno, até os 30cm de profundidade, possui uma densidade menor que os demais. Já o ponto externo, em todas as profundidades possui a maior DS. Baseado em Sá & Júnior (2005), nenhum destes valores chegou a um ponto crítico de DS.

4.2.2 Resistência a penetração

A Figura 6, mostra o comportamento da RP obtida na Área 2.

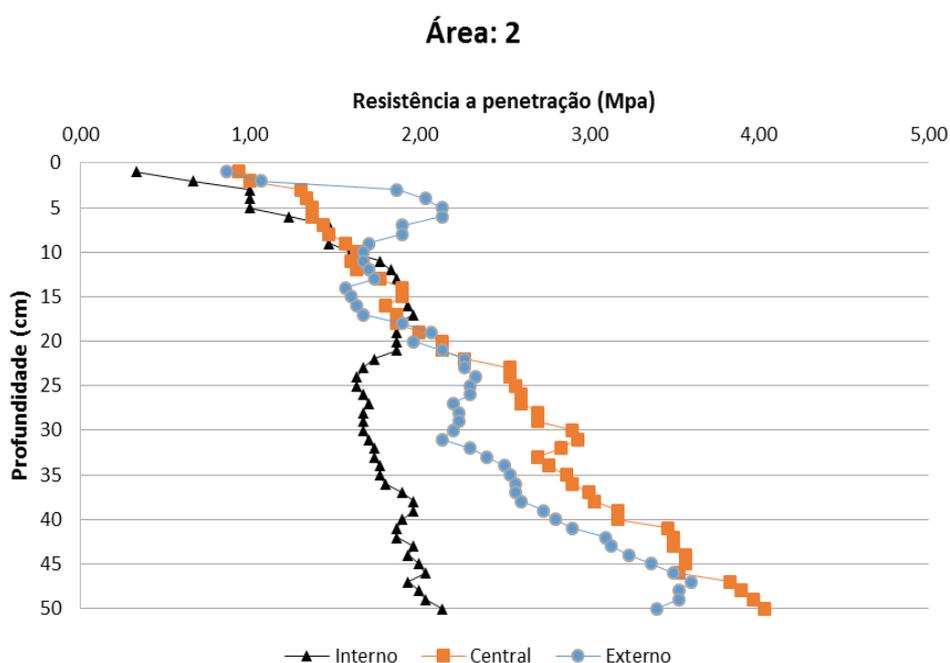


Figura 6: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 2.

A figura 6 mostra os valores de RP nos três ensaios na área 2, esses valores variam de 0,4Mpa até 4Mpa, sendo que, o ponto interno obteve valores menores, não passando de 2,1Mpa, já os pontos central e externo tiveram comportamento aproximados, o central chegou a 4Mpa, o que obteve valor mais elevado e o central chegou a 3,5Mpa. Observa-se que, tanto no central como no externos os valores mais elevados foram localizados nas camadas a partir de 35cm de profundidade.

A tabela 7 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central.

Tabela 7: Valores médios da Área 2, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	1,12a	1,34a	1,72a	1,39	30,07
10 – 20	1,87a	1,84a	1,75a	1,82	14,43
20 – 30	1,69a	2,55a	2,24a	2,16	16,49
30 – 40	1,82a	2,93b	2,51ab	2,42	17,03
40 - 50	1,97a	3,68b	3,33b	2,99	18,91

Segundo a tabela 7, ocorreu diferença estatística somente nas camadas 30 – 40cm e 40 – 50cm, em que o ponto interno teve menor valor e o central os valores maiores, no interno as duas últimas profundidades tiveram valores de 1,82 e 1,97Mpa, e o central com 2,93 e 3,68Mpa respectivamente, o ponto externo na camada de 30 – 40 o valor não deferiu de nenhum dos outros dois, e a camada de 40 – 50 deferiu somente do ponto interno.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a resistência à penetração variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à alta (2,0 - 4,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 8.

Tabela 8: Distribuição em percentagem da classificação da RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	10	4	2
Moderada	84	34	30
Alta	6	62	68

A tabela 8 demonstra que no lance interno 84% da RP está classificada como moderada, já nos outros dois lances, central 62% e externo 68% a resistência é alta.

4.2.3 Infiltração de água no solo

A Figura 7, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

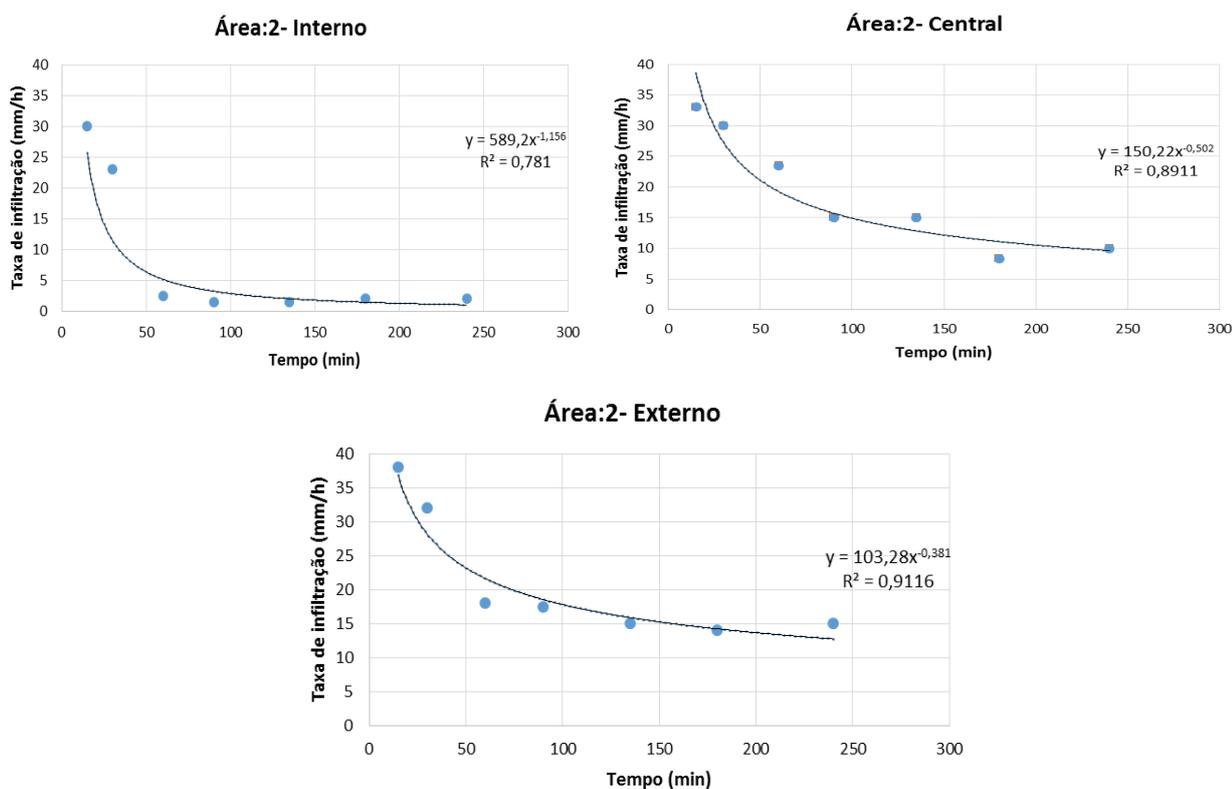


Figura 7: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 2.

Pode-se observar na figura 7 que o lance interno obteve menores valores de infiltração de água no solo, a VIB deste ponto foi 12mm/h, classificada como VIB média (5 – 15mm/h), no ponto central a VIB teve grande aumento tendo valor de 87,15mm/h, classificada como VIB muito alta (>30mm/h), no terceiro ponto a VIB ficou entre estes dois valores, seu valor foi de 26,74mm/h, classificada como VIB alta (15 – 30mm/h).

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do teste foi de 0,13g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.3 ÁREA 3

A área com uma localização de 14,5 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 8). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°30'13.51"S e 55°33'39.47"O. Totalizando 45 hectares de área irrigada, o pivô foi instalado em 2013, como histórico de cultivo, é cultivado no verão: soja e milho e inverno: trigo, aveia e azevém, onde realiza-se sucessão de culturas, o tipo de cultivo é o cultivo mínimo. Este produtor, nesta área, a produção é destinada para semente.

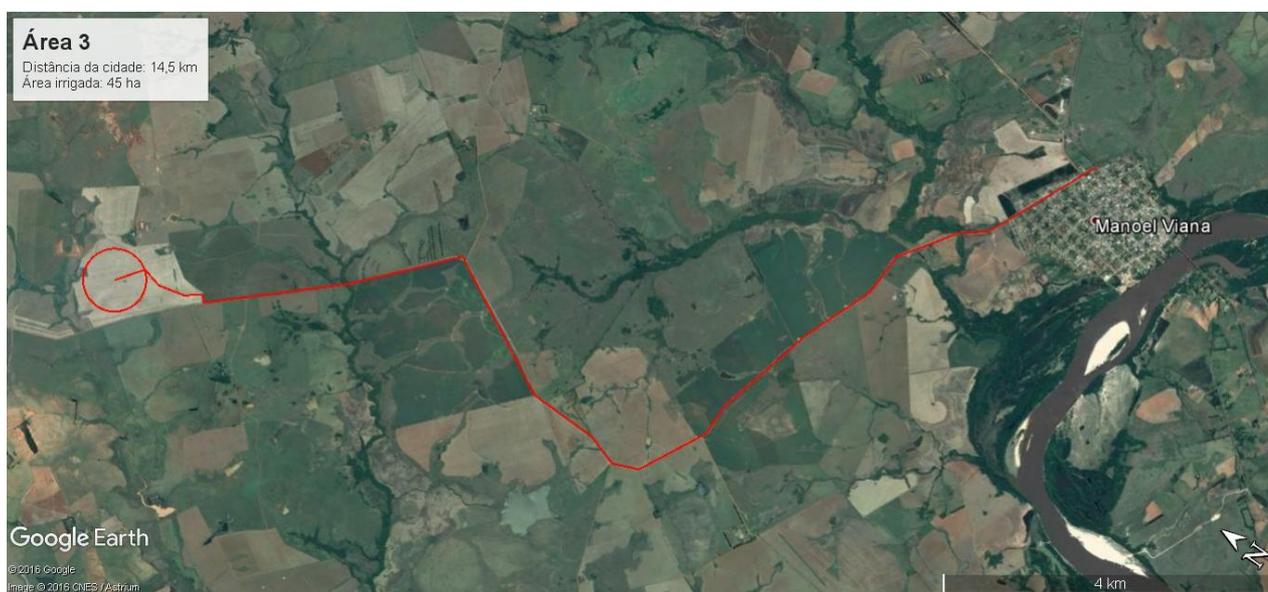


Figura 8: Localização da área 3.

4.3.1 Densidade do solo

A Tabela 9 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados:

Tabela 9: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,65b	1,64a	1,49a	1,40a
Central	1,53a	1,45a	1,50a	1,45a
Externo	1,62ab	1,56a	1,49a	1,57a
Média	1,60	1,55	1,49	1,49
CV (%)	2,85	5,21	1,05	4,72

Na tabela 9, podemos observar a análise estatística entre os três pontos, em que, somente na profundidade de 10cm ocorreu variação estatística. Observado, constatou que nas camadas mais superiores a densidade foi maior, possivelmente pelo tráfego de máquinas intenso e nenhum processo de descompactação do solo. Os valores variaram de 1,40 até 1,65 g/cm^3 . Baseado em Sá & Júnior (2005), um valor crítico para DS seria a partir de 1,60 g/cm^3 , necessitando então de cuidados para diminuir estes valores nesta área.

4.3.2 Resistência a penetração

A Figura 9, mostra o comportamento da RP obtida na Área 3.

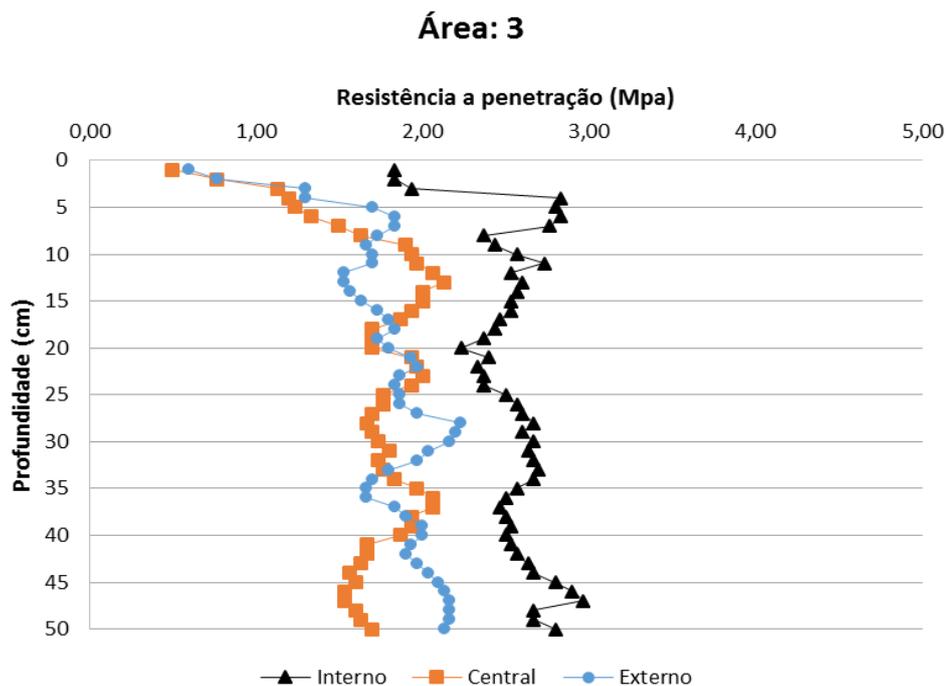


Figura 9: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 3.

A figura 9 mostra os ensaios de RP nos 3 pontos da área 3, os valores variam de 0,5 até 2,9Mpa, tendo que o ensaio interno registrou uma resistência superior as demais.

A tabela 10 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central.

Tabela 10: Valores médios da Área 3, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	2,42a	1,31a	1,44a	1,72	30,60
10 – 20	2,50a	1,90a	1,68a	2,02	16,66
20 – 30	2,50a	1,81a	1,99a	2,10	15,67
30 – 40	2,57a	1,89a	1,85a	2,10	18,46
40 - 50	2,72b	1,61a	2,07ab	2,13	18,10

Segundo a tabela 10, a RP deferiu entre os três ensaios somente na camada de 40 – 50cm, onde, o ponto central teve o menor valor de 1,61Mpa, este mesmo ponto deferiu estatisticamente

do ponto interno que registrou valor de 2,72Mpa e o ponto externo não deferiu dos demais ficando com valor de 2,07Mpa.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a RP variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à alta (2,0 - 4,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 11.

Tabela 11: Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	0	2	4
Moderada	6	88	74
Alta	94	8	22

A tabela 11 demonstra que no lance interno 94% da RP está classificada como alta, já nos outros dois lances, central 88% e externo 74% a resistência é moderada.

4.3.3 Infiltração de água no solo

A Figura 10, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

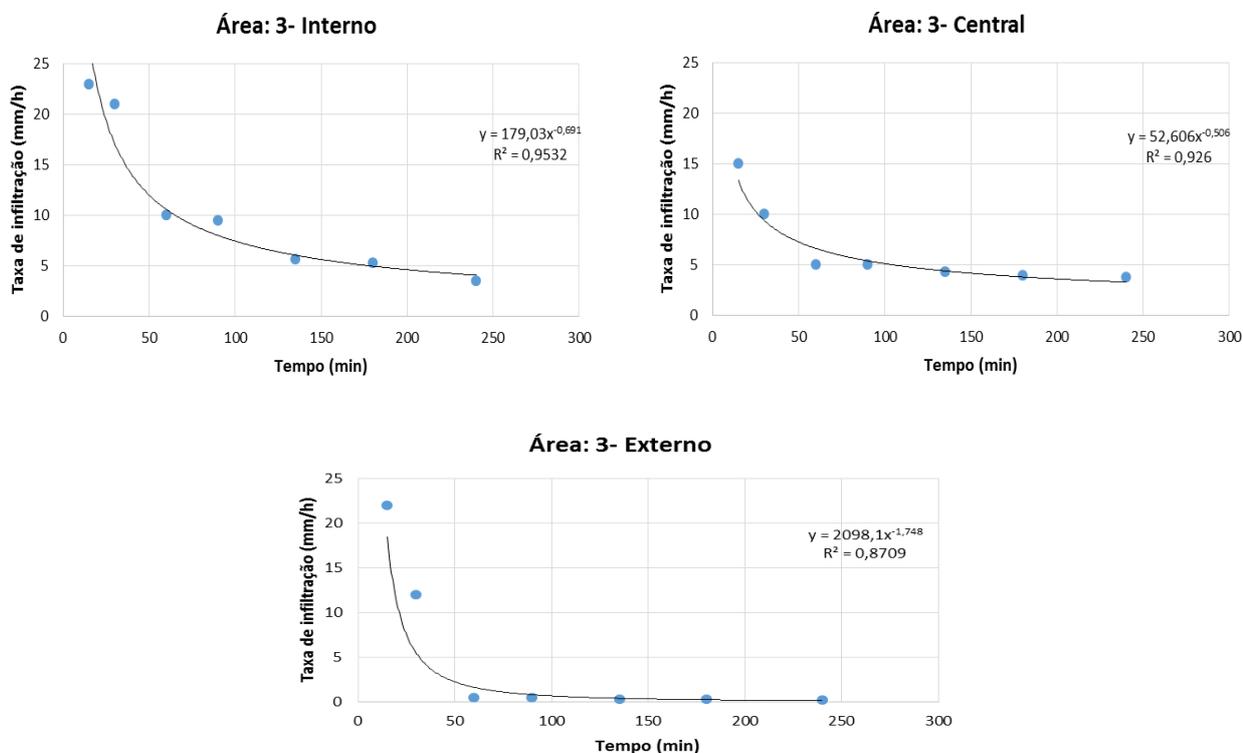


Figura 10: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 3.

Pode-se observar na figura 10 que o lance externo obteve menores valores de infiltração de água no solo, a VIB do ponto interno foi 67,54mm/h, classificada como VIB muito alta (>30mm/h), no ponto central a VIB teve de 26mm/h, classificada como VIB alta (15 – 30mm/h), no ponto externo a VIB diminuiu significativamente, seu valor foi de 4,43mm/h, classificada como VIB baixa (<5mm/h).

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do ensaio foi de 0,10g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.4 ÁREA 4

A área com uma localização de 15,6 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 11). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°30'35.13"S e 55°33'8.41"O. Totalizando 70 hectares de área irrigada, o pivô foi instalado em 2015, como histórico de cultivo, é cultivado no verão: soja e milho e inverno: trigo, aveia e azevém, onde realiza-se sucessão de culturas, o tipo de cultivo é o cultivo mínimo. Este produtor, nesta área, a produção é destinada para semente.



Figura 11: Ilustração da área 4.

4.4.1 Densidade do solo

A Tabela 12 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados:

Tabela 12: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,57a	1,79b	1,75b	1,69a
Central	1,68a	1,71a	1,61a	1,63a
Externo	1,63a	1,75a	1,68ab	1,64a
Média	1,62	1,75	1,68	1,65
CV (%)	5,14	0,87	1,74	1,71

Na tabela 12, podemos observar a análise estatística entre os três pontos, onde ocorreu diferença estatística nas profundidades 20 e 30cm, os valores variaram de 1,57 a 1,79 g/cm^3 . Segundo Sá & Júnior (2005), o valor crítico para DS é a partir de 1,6 g/cm^3 , observamos que somente um valor ficou abaixo disso. Está área possui densidade elevada, possivelmente pelo processo de cultivo mínimo sem revolvimento do solo e sem ter uma rotação de culturas.

4.4.2 Resistência a penetração

A Figura 12, mostra o comportamento da RP obtida na Área.

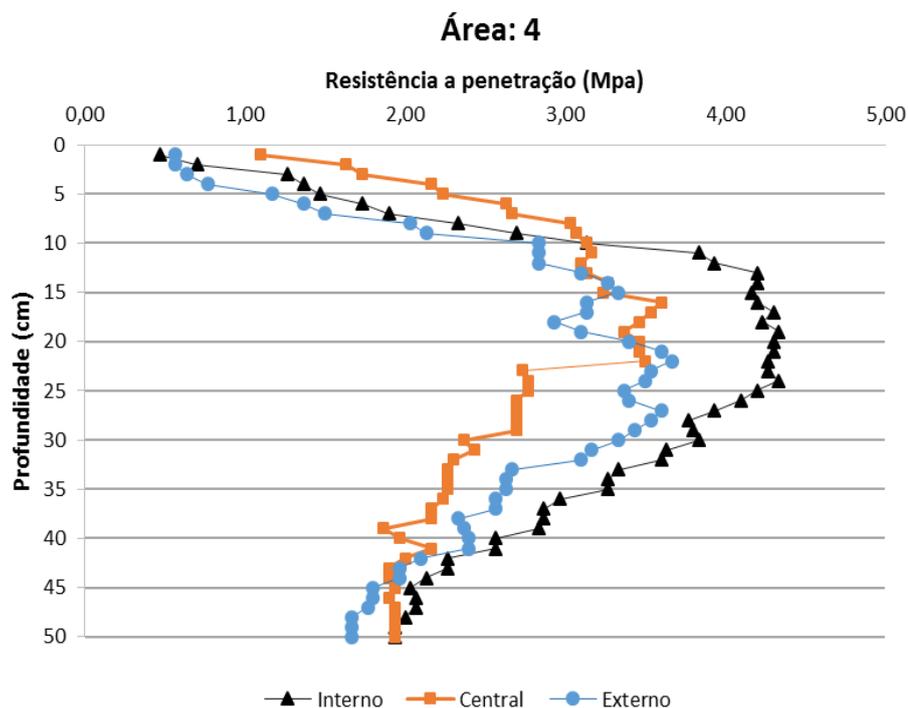


Figura 12: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 4.

A figura 12 mostra os ensaios de RP nos 3 pontos da área 4, os valores variam de 0,5 até 4,3Mpa, nos três pontos observamos que na profundidade de 10 a 30cm, foram registrados os maiores valores de RP, por ter uma camada compactada nesta profundidade podemos dizer que existe um pé de grade neste local.

A tabela 13 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central.

Tabela 13: Valores médios da Área 4, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa)			Média	CV(%)
	Interno	Central	Externo		
0 – 10	1,7ab	2,34b	1,35a	1,79	26,22
10 – 20	4,17a	3,33a	3,10a	3,53	15,06
20 – 30	4,08b	2,84a	3,49b	3,47	16,22
30 – 40	3,12a	2,19a	2,64a	2,65	20,26
40 - 50	2,12a	1,95a	1,88a	1,98	13,93

A tabela 13, mostra a análise estatística feita entre os 3 pontos de coleta na área 4, em que as camadas de 0 – 10cm e 20 – 30cm deferiram estatisticamente, a camada de 0 – 10cm teve no ponto externo o menor valor de 1,35Mpa, deferindo do ponto central com 2,34Mpa, o ponto interno não se diferenciou dos demais. A camada de 20 – 30cm teve menor valor no ponto central com valor de 2,84Mpa, deferindo dos demais pontos, que registraram valores de 4,08Mpa o interno e 3,49Mpa o externo, esta camada, pode-se observar (figura 12) que os valores de RP aumentam significativamente nos 3 pontos, podendo observar uma camada compactada, possivelmente um pé de grade, e que no ponto interno a RP é mais severa.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a RP variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à muito alta (4,0 - 8,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 14.

Tabela 14: Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	4	0	8
Moderada	16	28	22
Alta	52	72	70
Muito alta	28	0	0

A tabela 14 demonstra que no lance interno a predominância foi classificação alta, com 52% dos valores na mesma, e 28% muito alta, no lance central 72% alta e 28% moderada e externo 70% alta e 22% moderada, o lance interno foi o que obteve maior valores de resistência e com um pé de grade mais expressivo, no lance interno 28% dos pontos foram classificados como resistência muito alta.

4.4.3 Infiltração de água no solo

A Figura 13, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

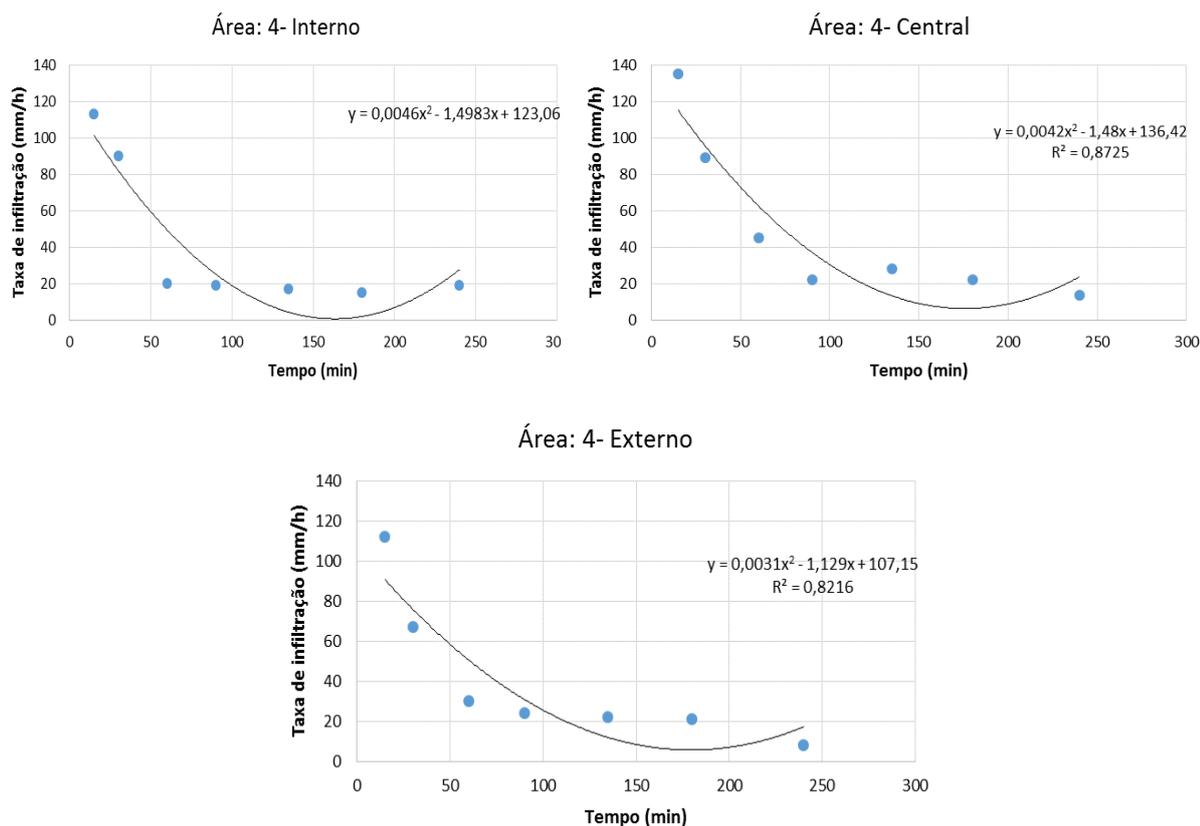


Figura 13: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 4.

Pode-se observar na figura 13 que o lance interno obteve menores valores de infiltração de água no solo, a VIB do ponto interno foi 49mm/h, central 83mm/h e externo 81mm/h, todos os pontos foram classificados como VIB muito alta (>30mm/h).

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do ensaio foi de 0,06g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.5 ÁREA 5

A área com uma localização de 16 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 14). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°30'35.13"S e 55°33'8.41"O. Totalizando 100 hectares de área irrigada, este pivô é setorial, não completando o raio total de giro, o pivô foi instalado em 2015, como histórico de cultivo, é cultivado no verão: soja e milho e inverno: trigo, aveia e azevém, onde realiza-se sucessão de culturas, o tipo de cultivo é o cultivo mínimo. Este produtor, nesta área, a produção é destinada para semente.

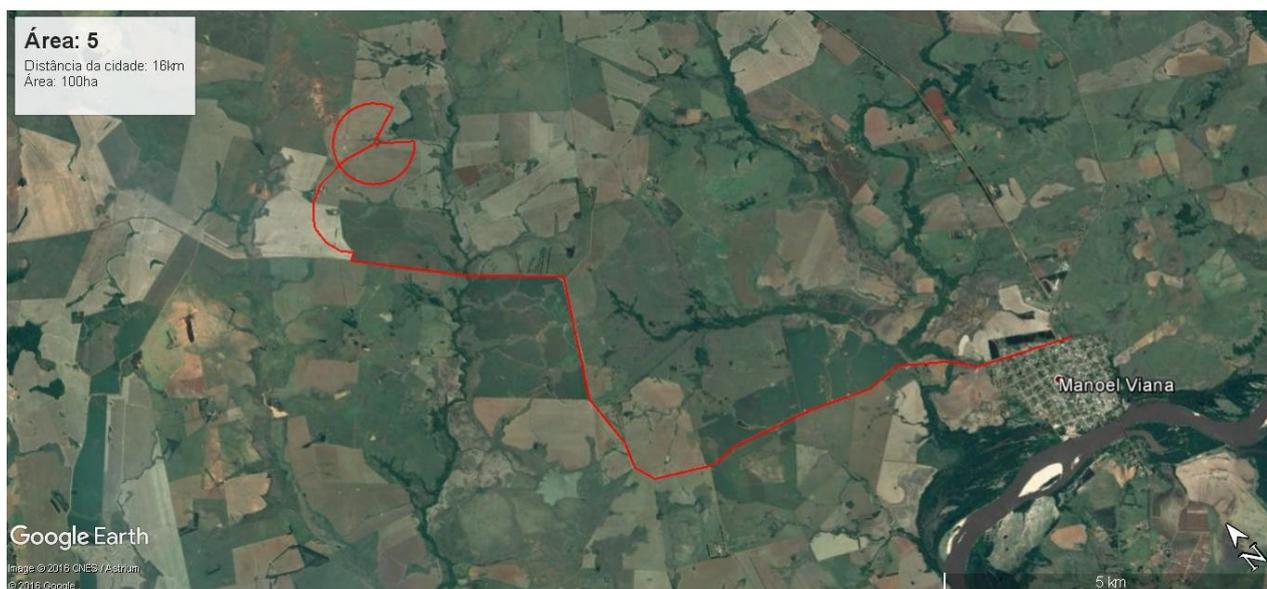


Figura 14: Localização da área 5

4.5.1 Densidade do solo

A Tabela 15 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados:

Tabela 15: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,77a	1,61a	1,59a	1,61a
Central	1,67a	1,68a	1,62a	1,57a
Externo	1,70a	1,67a	1,65a	1,61a
Média	1,71	1,65	1,62	1,60
CV (%)	3,99	4,15	4,25	3,36

Na tabela 15, podemos observar a análise estatística entre os três pontos, onde não ocorreu diferença significativa, os valores variaram de 1,57 a 1,77g/cm³. Segundo Sá & Júnior (2005), o valor crítico para DS é a partir de 1,6g/cm³, observamos que a maioria dos valores ficaram superiores. Está área possui densidade elevada, possivelmente pelo processo de cultivo mínimo sem revolvimento do solo e sem ter uma rotação de culturas.

4.5.2 Resistência a penetração

A Figura 15, mostra o comportamento da RP obtida na Área 5.

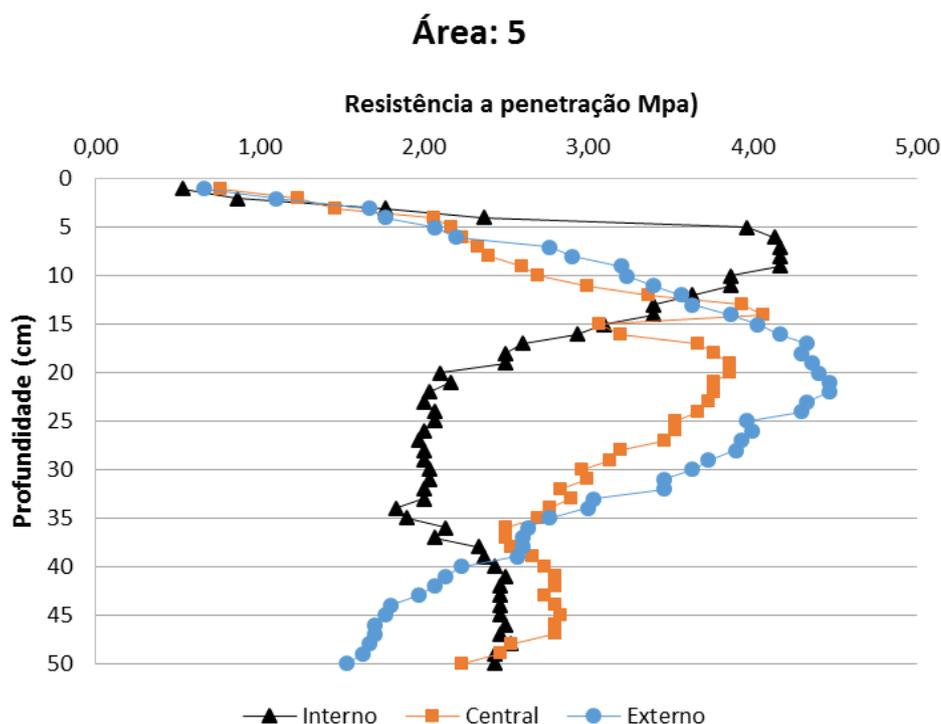


Figura 15: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 5.

A figura 15 mostra os ensaios de RP nos 3 pontos da área 5, os valores variam de 0,5 até 4,5Mpa, com o mesmo problema encontrado na área anterior, nos gráficos observamos uma camada compactada na profundidade dos 20cm, os valores comparados com as áreas anteriores foram superiores. Após a camada compactada a RP registrou valores mais baixos novamente, então pode-se dizer que o problema seria na camada de 5 a 35cm de profundidade.

A tabela 16 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central:

Tabela 16: Valores médios da Área 5, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	3,00b	1,99a	2,15a	2,38	11,34
10 – 20	3,00a	3,58a	4,00a	3,58	20,94
20 – 30	2,03a	3,47a	4,07a	3,19	33,28
30 – 40	2,11a	2,71a	2,83a	2,55	21,44
40 - 50	2,47a	2,68a	1,79a	2,31	22,79

Como demonstra a tabela 16, a diferença estatística ocorreu somente na camada de 0 – 10cm, o ponto interno diferiu dos demais tendo valor superior de 3,00Mpa, o ponto central e o externo não tiveram diferença estatística entre si, com valores de 1,99 e 2,15Mpa respectivamente, pode-se observar na figura 15 que a RP na camada de 0 – 10cm, o ponto interno se destacou dos demais, na tabela 15 (densidade do solo) a densidade deste local foi superior das demais com valor de 1,77g/cm³.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a RP variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à muito alta (4,0 - 8,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada no tabela 17.

Tabela 17: Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	4	2	2
Moderada	20	4	22
Alta	68	92	56
Muito alta	8	2	20

A tabela 17 demonstra que a predominância foi classificação alta, com 68% dos valores no lance interno, 92% no lance central e 56% no externo, constatou também, que todos os ensaios registraram valores com resistência muito alta.

4.5.3 Infiltração de água no solo

A Figura 16, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

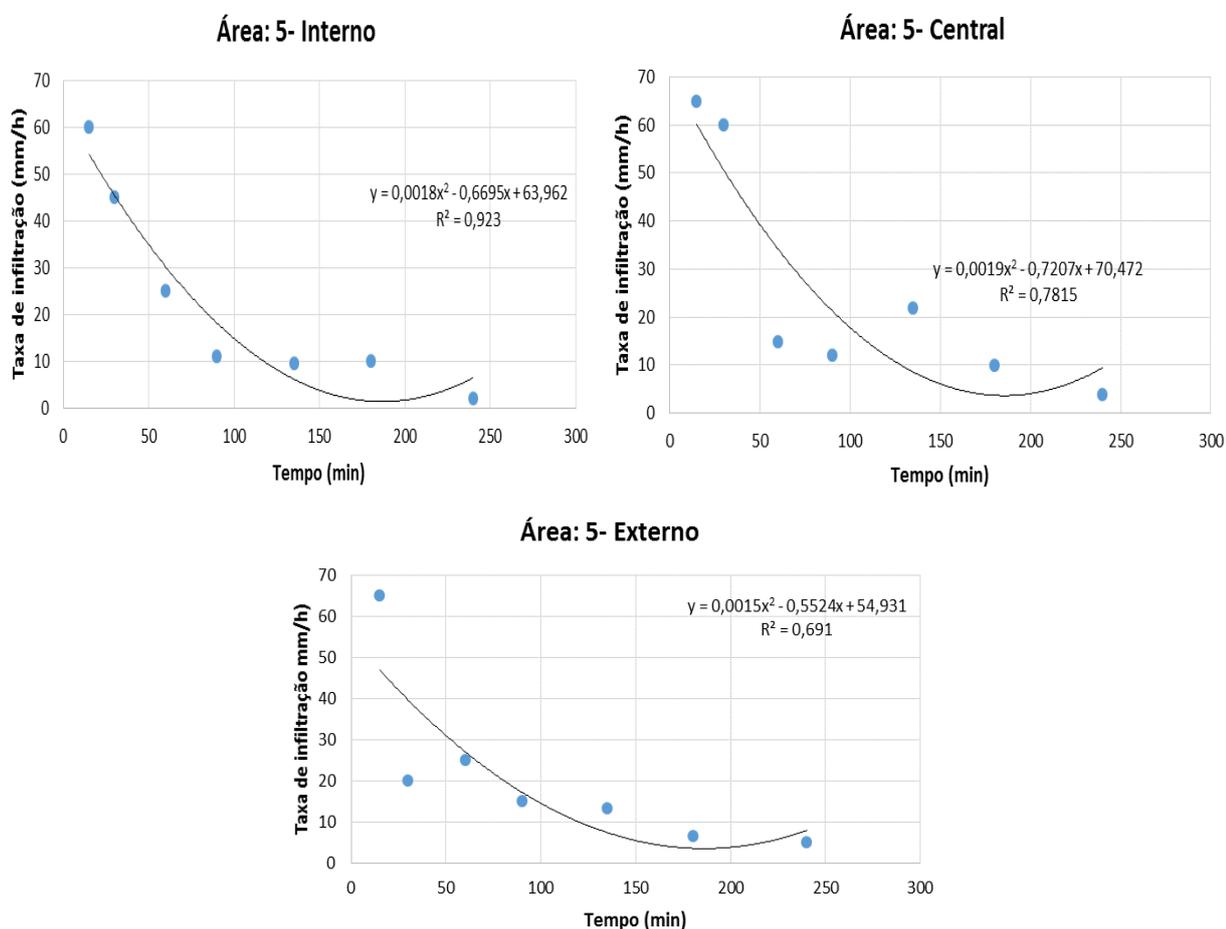


Figura 16: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 5.

Pode-se observar na figura 16 que os lances interno e externo tiveram valores próximos de taxa de infiltração, e a VIB destes dois pontos também foram aproximadas, 47,91mm/h e 52,74mm/h respectivamente, o lance central obteve valor mais elevado a VIB ficou com um valor de 67,61mm/h, todos os pontos foram classificados como VIB muito alta (>30mm/h).

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do teste foi de 0,07g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.6 ÁREA 6

A área com uma localização de 13,36 km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 17). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°32'18.94"S e 55°30'49.51"O. Totalizando 17 hectares de área irrigada, o pivô foi instalado em 2014, como histórico de cultivo, é cultivado no verão: soja e milho e inverno: aveia e azevém, onde realiza-se sucessão de culturas, o tipo de cultivo é o cultivo mínimo. Este produtor, nesta área, a produção é destinada para semente.

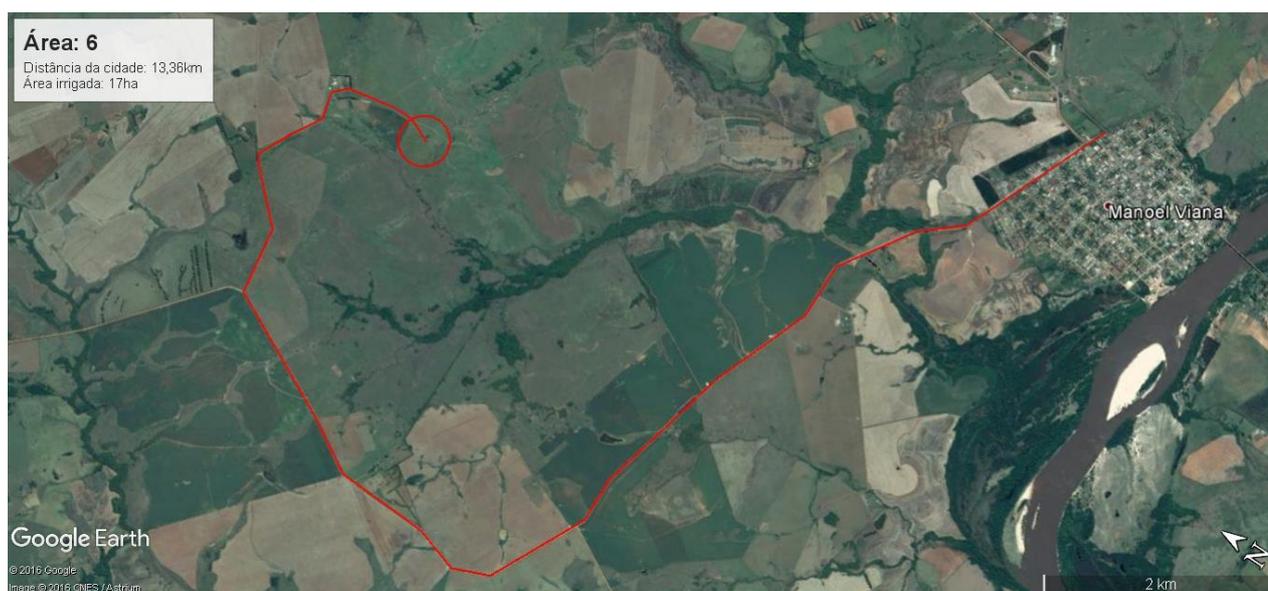


Figura 17: Localização da área 6.

4.6.1 Densidade do solo

A Tabela 18 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados:

Tabela 18: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,40a	1,41a	1,40a	1,37a
Central	1,50b	1,37a	1,40a	1,37a
Externo	1,33a	1,57a	1,37a	1,39a
Média	1,41	1,45	1,39	1,38
CV (%)	2,86	11,39	4,67	2,44

Na tabela 18, podemos observar a análise estatística entre os três pontos, onde ocorreu diferença significativa somente na camada de 10cm, os valores variaram de 1,33 a 1,50g/cm³. Segundo Sá & Júnior (2005), o valor crítico para DS é a partir de 1,6g/cm³, observamos que todos os valores ficaram abaixo do valor crítico. Esta área possui densidade desejável, pois no histórico da área, foi realizado uma descompactação mecânica e possivelmente foi o motivo da densidade estar baixa.

4.6.2 Resistência a penetração

A Figura 18, mostra o comportamento da RP obtida na Área.

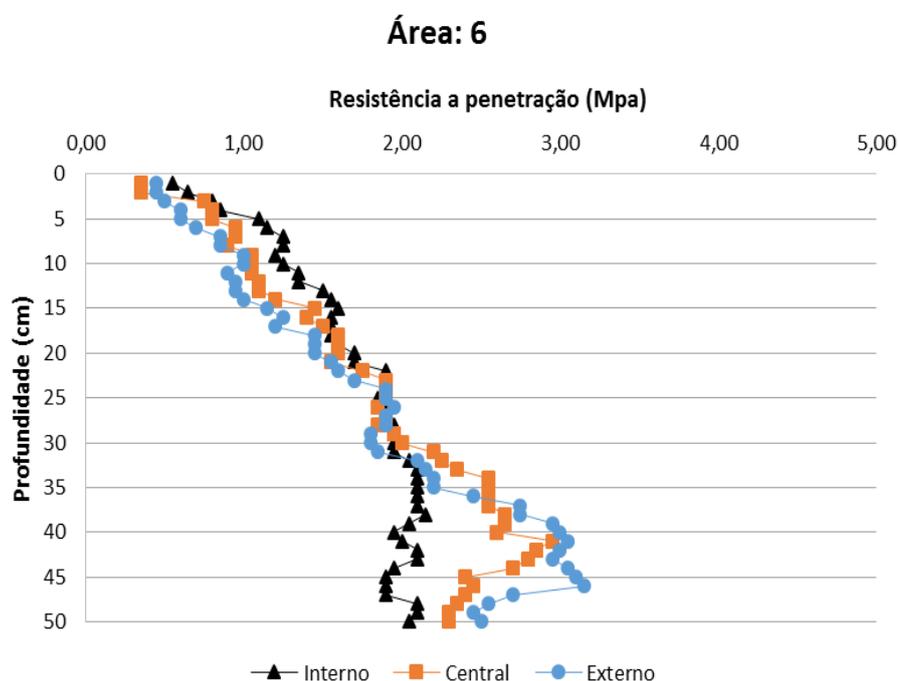


Figura 18: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 6.

A figura 18 mostra os ensaios de RP nos 3 pontos da área 6, os valores variam de 0,4 até 3,2Mpa. Nesta área, provavelmente pelo motivo da escarificação os valores foram baixos, no ensaio do ponto central na profundidade de 40cm os valores foram os mais elevados, mas não tendo um agravamento na RP.

A tabela 19 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central.

Tabela 19: Valores médios da Área 6, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	0,95a	0,71a	1,02a	0,88	9,11
10 – 20	1,56b	1,15a	1,33ab	1,34	9,85
20 – 30	1,86a	1,83a	1,90a	1,86	2,63
30 – 40	2,20a	2,46a	2,38a	2,34	7,69
40 - 50	2,10a	2,84b	2,07a	2,33	9,23

A tabela 19 mostra o resultado da análise estatística da RP na área 6, em que somente houve diferença estatística nas camadas de 10 – 20cm e 40 – 50cm, na camada de 10 – 20cm o ponto central teve o menor valor 1,15Mpa deferindo do ponto interno que teve maior valor 1,56Mpa, já o ponto externo não deferiu dos demais com valor de 1,33Mpa. A camada 40 – 50cm teve o ponto central com maior valor 2,84Mpa deferindo dos demais, o ponto interno 2,10Mpa e externo 2,07Mpa não deferiram entre si, mas deferiram do ponto central. Segundo a figura 18 a RP aumenta conforme a profundidade, não tendo problemas de compactação nas camadas superficiais.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a RP variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à alta (2,0 - 4,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 20.

Tabela 20: Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	8	22	30
Moderada	52	40	38
Alta	40	38	32
Muito alta	0	0	0

A tabela 20 demonstra que a predominância dos valores foi classificada moderada e alta, com 52%, 40% e 38% moderada, 40%, 38% e 32% alta dos lances interno e central e externo respectivamente.

4.6.3 Infiltração de água no solo

A Figura 19, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

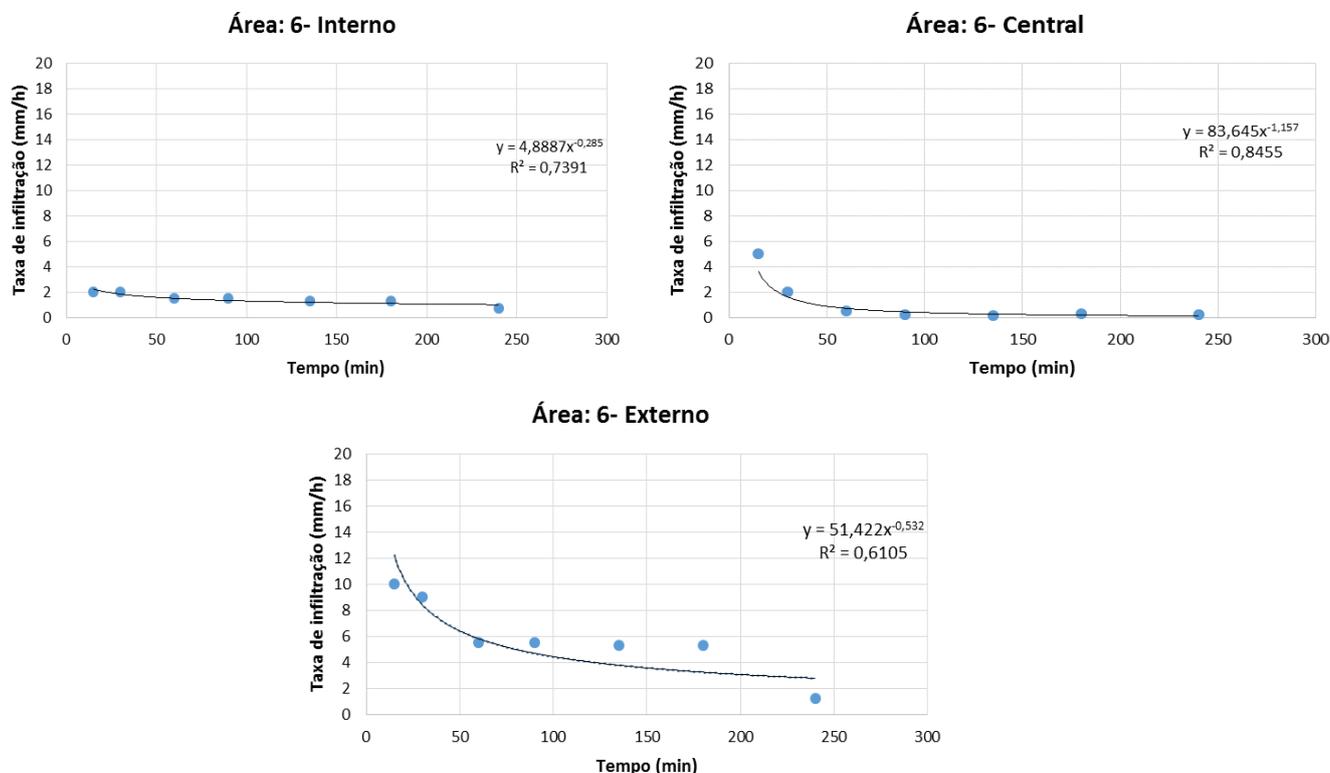


Figura 19: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 6.

Pode-se observar na figura 19 que o lance interno teve valor de 3,29mm/h, ficando abaixo dos demais que registraram valores de 16,82mm/h o central e 24,93mm/h o externo, a classificação da VIB, segundo Bernardo (2008) no ponto interno foi baixa (< 5mm/h), no ponto central e externo foi alta (15 – 30mm/h).

Houve elevada variação na infiltração de água do solo nesta área, apesar dos parâmetros densidade do solo e resistência a penetração terem valores favoráveis a infiltração comparados com os outros pontos, o ponto de ensaio interno, obteve valor da VIB classificada como baixa (< 5mm/h), que vem a supor valores de densidade elevados ou resistência a penetração também elevados, outro parâmetro físico que não analisamos deve ter influenciado no ensaio de velocidade de infiltração.

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do teste foi de 0,11g/g (média de 4 profundidades até 40 cm).

4.7 ÁREA 7

A área com uma localização de 13,12km da área urbana do município de Manoel Viana (Figura 20). A localidade apresenta coordenadas geográficas de 29°31'55.06"S e 55°30'34.83"O. Totalizando 14 hectares de área irrigada, o pivô foi instalado em 2014, como histórico de cultivo, nesta área é utilizada com pastagem para gado, a cultura implantada é a braquiária, de ciclo perene.

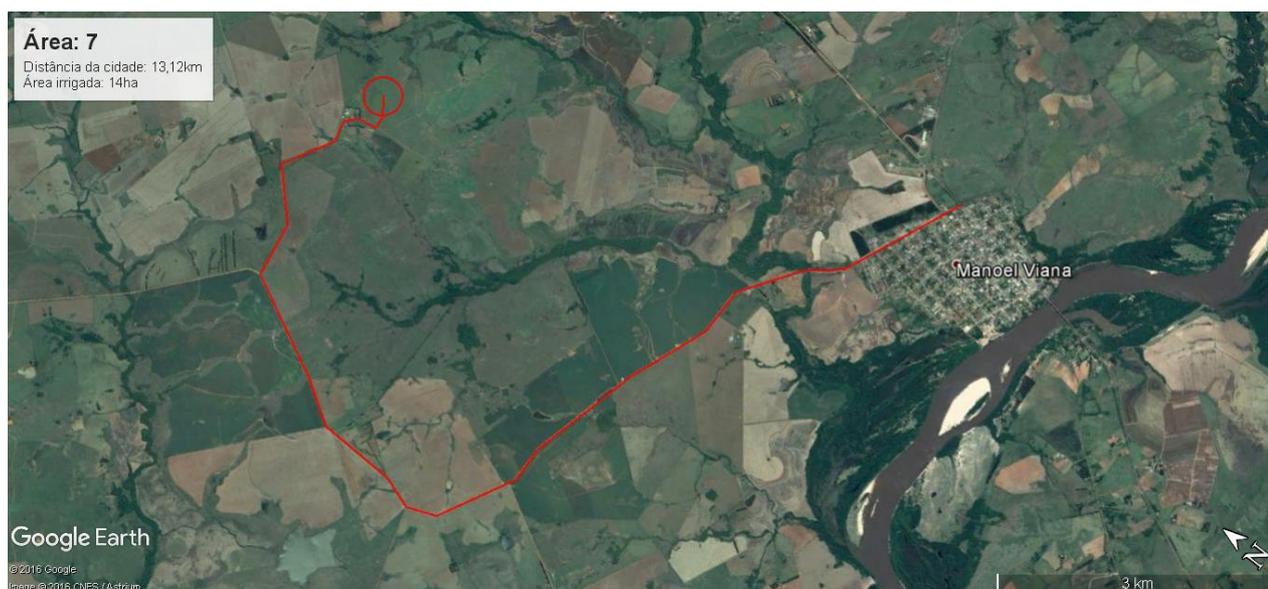


Figura 20: Localização da área 7.

4.7.1 Densidade do solo

A Tabela 21 apresenta os valores obtidos de DS nos três pontos do pivô analisados.

Tabela 21: Valores de DS (g/cm^3) obtidos em três pontos ao longo do pivô-central.

Ponto de coleta	10cm	20cm	30cm	40cm
Interno	1,60a	1,63a	1,62ab	1,59a
Central	1,59a	1,62a	1,64b	1,62a
Externo	1,56a	1,55a	1,52a	1,64a
Média	1,58	1,60	1,59	1,61
CV (%)	2,41	2,24	2,85	3,64

Na tabela 21, podemos observar a análise estatística entre os três pontos, onde ocorreu diferença significativa somente na camada de 30cm, os valores variaram de 1,52 a 1,64g/cm³. Segundo Sá & Júnior (2005), o valor crítico para DS é a partir de 1,6g/cm³, observamos que alguns valores ficaram acima deste parâmetro, provavelmente a elevação da densidade está ligado com o pisoteio animal e falta de rotação de culturas.

Albuquerque (2001), estudando os impactos da integração lavoura pecuária, concluiu que, o pisoteio animal reduz os macroporos, a condutividade hidráulica e aumenta a resistência a penetração, recomenda também quando o solo estiver umidade acima do ponto de friabilidade deve-se retirar o gado e evitar o tráfego de maquinário. As modificações nas propriedades físicas do solo, em sistemas que utilizam a pecuária em rotação com agricultura, manejadas de forma inadequadas, afetam o crescimento e a produtividade das culturas.

4.6.2 Resistência a penetração

A Figura 21, mostra o comportamento da RP obtida na Área.

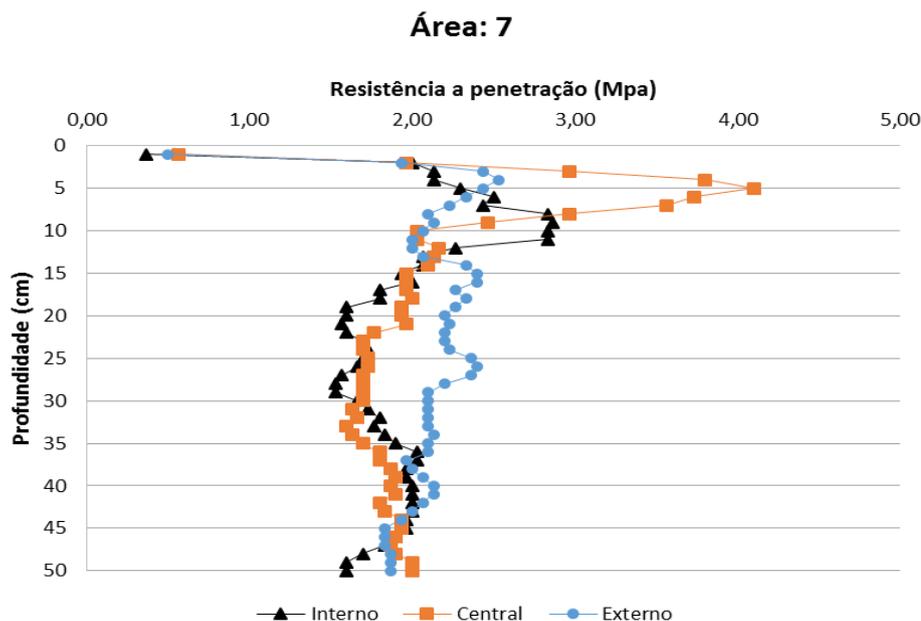


Figura 21: Valores de RP obtidos em três pontos ao longo do pivô central da Área 7.

A figura 21 mostra os ensaios de RP nos 3 pontos da área 7, os valores variaram de 0,4 a 4,1Mpa, observa-se na figura acima que nos pontos interno e central ocorreu uma camada compactada na profundidade de 5 a 10cm, o pisoteio animal gera compactação nas camadas mais superficiais, sendo então, este motivo pelo qual verificamos esta camada compactada, salienta-se, que no ensaio interno, foi realizado próximo ao local onde realiza-se a alimentação e onde está o

bebedouro para os animais, este local gera aglomeração e forte pisoteio, por isso, foi registrado os maiores valores de RP nesta área. No ponto externo, os valores permaneceram em uma margem esperada e sem valores preocupantes.

A tabela 22 apresenta os resultados da análise estatística feita entre os três pontos ao longo do pivô central.

Tabela 22: Valores médios da Área 7, obtidos nos três pontos ao longo do pivô central, até a profundidade de 50 cm.

Profundidade (cm)	RP (Mpa) Interno	RP (Mpa) Central	RP (Mpa) Externo	Média	CV(%)
0 – 10	2,24a	2,81a	2,07a	2,37	22,95
10 – 20	1,99a	2,02a	2,22a	2,07	8,71
20 – 30	1,62a	1,74a	2,24b	1,86	9,07
30 – 40	1,9a	1,74a	2,08a	1,9	10,57
40 - 50	1,85a	1,90a	1,92a	1,89	19,99

Segundo a tabela 22, somente na camada de 20 – 30cm ocorreu diferença estatística, onde o ponto externo teve maior valor 2,24Mpa, deferindo dos pontos interno 1,62Mpa e central 1,74Mpa, que não deferiram entre si, a tabela 21 mostra que a densidade nessa profundidade também teve diferença estatística, onde o ponto externo teve menor valor de densidade, deferindo das demais.

Conforme a classificação de Soil Survey Staff (1993), citado por Beutler et al. (2001), a RP variou de baixa (0,1 - 1,0 Mpa) à muito alta (4,0 - 8,0Mpa), com uma distribuição em percentagem demonstrada na tabela 23.

Tabela 23: Distribuição em percentagem da classificação RP nos 3 ensaios.

Classificação	Interno (%)	Central (%)	Externo (%)
Baixa	2	2	2
Moderada	70	74	24
Alta	28	22	74
Muito alta	0	2	0

A tabela 23 demonstra que a predominância dos valores foi classificada moderada e alta, com 70%, 74% e 24% moderada, 28%, 22% e 74% alta dos lances interno, central e externo respectivamente. Apesar dos lances interno e central registrarem os valores maiores, na média geral, o lance externo foi o que teve maior percentual de valores na classificação alta, e os outros dois foram predominância moderada.

4.7.3 Infiltração de água no solo

A Figura 22, mostra o comportamento da taxa de infiltração de água no solo nos três pontos do pivô central.

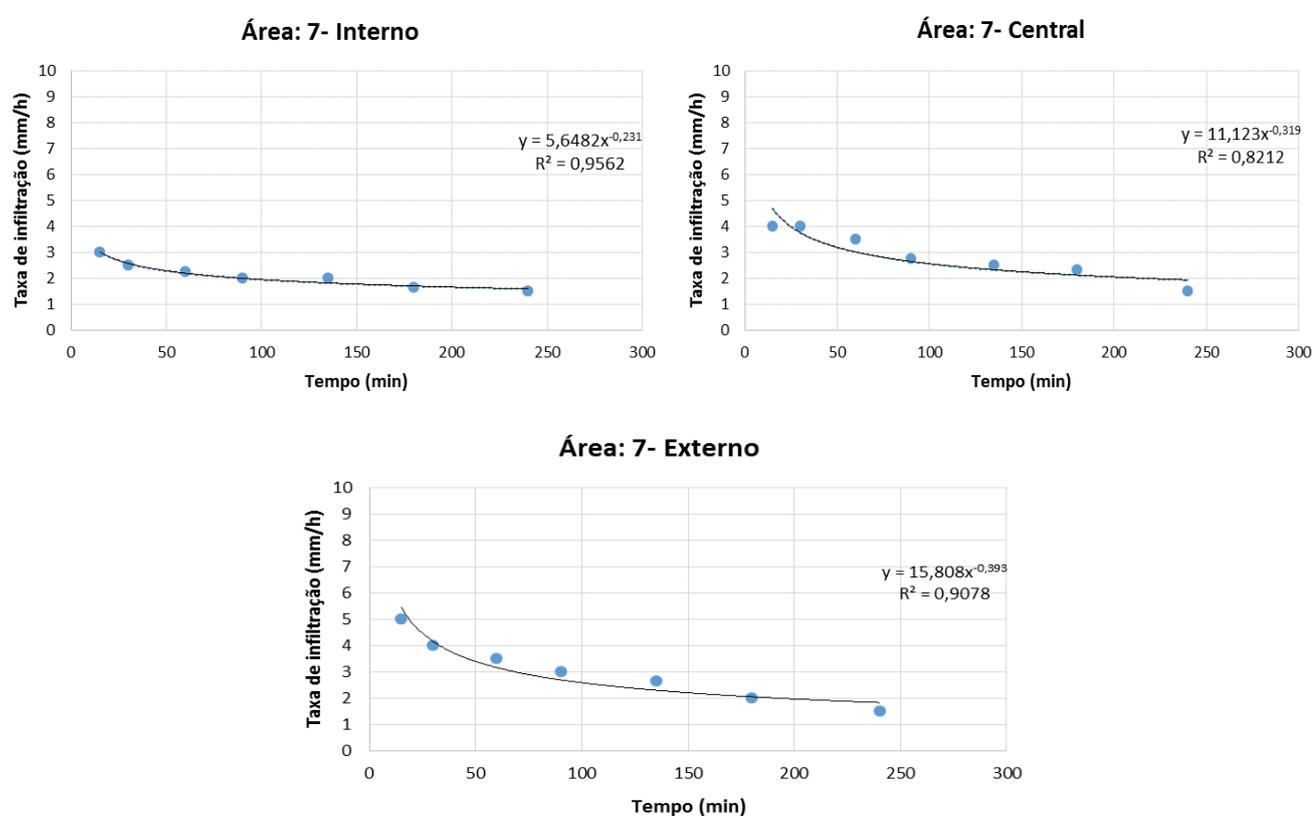


Figura 22: Comportamento da taxa de infiltração (mm/h) na área 7.

Pode-se observar na figura 22 que os valores comparados com as áreas anteriores foram menores, a taxa de infiltração foi baixa desde o início do ensaio, o lance interno começou com 3mm/h e ao final do ensaio a taxa caiu para 1,5mm/h o lance central começou com 4mm/h e caiu para 1,5mm/h e o externo começou com 5mm/h e caiu para 1,5mm/h, a VIB dos três pontos foram baixas, 4,1mm/h, 7,14mm/h e 9,14mm/h respectivamente, a classificação segundo Bernardo (2008) no ponto interno foi baixa (<5mm/h), no ponto central e externo foi média (5 – 15mm/h).

O valor obtido de umidade volumétrica no momento do ensaio foi de $0,08\text{g/cm}^3$ (média de 4 profundidades até 40 cm).

O fato da área ser destinada a pecuária e ter intenso pisoteio animal, levou a estes valores mais baixos de infiltração de água no solo, a camada compactada na camada de 5 a 15cm também pode ter contribuído de forma direta nos valores da VIB.

A integração lavoura-pecuária é uma alternativa para a diversificação de muitas propriedades rurais no Rio Grande do Sul, mas o pisoteio animal e o tráfego de máquinas levam à degradação do solo, principalmente em períodos em que o mesmo apresenta alto conteúdo de água. A compactação superficial do solo reduz a infiltração de água e aumenta a resistência do solo (LANZANOVA et al., 2007), o que prejudica o crescimento radicular das plantas (KAISER et al., 2009).

5 CONCLUSÃO

Constatou-se que os produtores irrigantes do município de Manoel Viana, possuem pouco acompanhamento técnico no manejo de seus equipamentos de irrigação. Dentre as áreas estudadas, verificou que os resultados obtidos foram classificados nas diversas categorias.

A DS em algumas áreas obteve valores elevados, mas contradizendo estes valores a velocidade de infiltração básica destas áreas como muito alta.

A resistência a penetração obteve diversos comportamentos, tendo áreas com valores de resistência a penetração baixa e também áreas com uma camada compactada na superfície. Essas condições físicas indicam que, em curtos períodos de seca, o desenvolvimento das plantas poderá ser limitado por prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas e dificultar o acesso à água armazenada nas camadas mais profundas. O sistema de cultivo mínimo adotado pelos produtores, utiliza grande tráfego de maquinário, acarretando em uma compactação nas camadas superficiais.

A predominância dos valores da VIB apresenta classificação muito alta ($> 30\text{mm/h}$), obteve também valores de VIB baixa ($< 5\text{mm/h}$), sendo que estes valores variam em um mesmo sistema de irrigação. Este fato pode ser atribuído à variabilidade espacial das áreas e à outros parâmetros físicos, que não foram estudados neste trabalho.

Recomenda-se, que ocorra um seguimento do estudo nestas áreas, tendo, levando-se em consideração outros parâmetros físico-hídricos, tais como, retenção de água no solo, textura, macro e microporosidade, etc. Desta forma, seria possível obter maiores informações e associações entre as respostas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R.; GOEFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F. & CASSOL, E. A. **Efeitos de sistema de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, volume 3, p. 169 - 172, 1979.

ABREU S. L.; REICHERT J. M.; REINERT, D. J. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto**. R. Bras. Ci. Solo, 28:519-531, 2004.

ALVES, M.C. & CABEDA, M.S.V. **Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, VOL. 23, p. 753-761, 1999.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGO, L.; ENDER, M. **Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho**: R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. **Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, VOL. 19, p. 115-119, 1995.

AMÉRICO, J.L. **Características Físicas e fator de erodibilidade de quatro solos representativos do município de São Mamede Paraíba-Areia. 1979**. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba UFPB, Areia/PB, 1979.

AZAMBUJA, J. M. V. **O solo e o clima na produtividade agrícola**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 164 p.

BARBALHO, M.G DA S, BARBALHO, F.G, SILVA, A. A. **Uso do solo e a irrigação por pivô central na superfície tabular no município de Cristalina-GO**, VI simpósio nacional de geomorfologia.

BERGAMASCHI, H. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. Pesquisa. Agropecuária. Brasileira. Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, set. 2004.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 3. ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 2009.111

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 3. ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1984.463

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa:UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampliada. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo**. Ciência. Rural, VOL. 30, P. 91-95, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. **Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.58, n.3, p. 555-560, 2001.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 167-177, 2001.

BRAGA, A, L. OLIVEIRA, J. C. **Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens ccd/cbers**, 2005.

BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. **Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates**. Soil Tillage Res., vol.14, P. 259-279, 1989.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, Minas Gerais, Ed. UFV, 2009. 120 p.

BOOHER, L.J. **Surface irrigation**. Rome: FAO, 1974, 160p. FAO, 95.

BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUCK, J. **Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 13, p. 369-373, 1990.

BERICKSON, A.E. **Tillage effects on soil aeration**. In. PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES, 1982., Madison. Proceedings. American Society of Agronomy, 1982, p.91-104.

CARVALHO, T. L 2012; **Avaliação da uniformidade de distribuição de um pivô central**. I Congresso de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Rio Verde do IFGoiano, 2012.

CARVALLO, H.O.G. **Física dos solos**. 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. **Estado de agregados e qualidade de agregados de um latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, p.99-105, 1990.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um latossolo roxo em função do seu preparo na cultura do milho (Zea Mays L.)**. Piracicaba, 1995. 174 p. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. **Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.14, p.99-105, 1990.

CARTER, M.R. **Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine loamy sands.** Canadian Journal Soil Science, v.70; p.425-433, 1990.

CANAL DO PRODUTOR. **Irrigação aumenta produtividade de milho e soja em cerca de 60%.** Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/irrigacao-aumenta-produtividade-de-milho-e-soja-em-cerca-de-60>>. **CANAL RURAL.** Irrigação contribui para aumento da produtividade das lavouras. **Fevereiro de 2015.** Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/milho/irrigacao-contribui-para-aumento-produtividade-das-lavouras-54744>>

CANAL RURAL. **Irrigação e manejo aumentam 12,7% produtividade n soja.** **Junho de 2015.** Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/mercado-e-cia/irrigacao-manejo-aumentam-127-produtividade-soja-56959>>

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkling.** Berkeley: University of Califórnia, 1942, 124p. (University of Califórnia. Bulletin 670).

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos.** Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.

COSTA, E.F. da. **Uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação em um sistema de irrigação do tipo pivô central,** 1988.

+

COELHO, R. D.; **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil.** 2007. 192 p. LivreDocência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COELHO, F.C; **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água.** Bahia Agricola v.7, set. 2005.

DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem.** 3. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1970. 453p.

DIEBOLD, C.H. **Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compaction.** Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 18, p. 339-343, 1954.

DEEPASK, **O mundo e as cidades através dos gráficos. Agricultura: Veja produção agrícola e área plantada por cidade do Brasil -** MANOEL VIANA, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.deepask.com/goes?page=manoel-viana/RS-Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>>

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1 6 9 1 2012 **Enciclopédia Biosfera,** Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 369-378, 2012.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.4, p.376-381, 2000.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. **Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 55, n. 1 jan/abr. 1998

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT**.

FARIA, j.c.; SCHAEFER, .E.R.; COSTA, .M. ET AL. **Effects of weed control on physical and micropedological properties on a brazilian utisol**. Revista brasileira de ciência do solo. 22:731-741.198.

FIORIN, T.T. **Estimativa de infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008, p.1.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 2012

FLOWERS, M.D., LAL, R. **Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J.H ; TOPP, G.C. (Ed). Methods of soil analysis: part 4 – physical methods. **Madison: American Society of America**, 2002. p.229-240.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

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.

JORNAL ZERO HORA, Campo e Lavoura. **Irrigação eleva produtividade e torna a cultura rentável**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2014/02/irrigacao-eleva-produtividade-e-torna-a-cultura-rentavel-4411666.html>>

KAISER, D.R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.845-855, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832009000400009&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em: 13 dez. 2010. doi: 10.1590/ S0100 06832009000400009.

KERTZMANN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocados pela compactação**. 1996. 153p. tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, p.1131- 1140, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832007000500028&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 13 dez. 2010. doi:,10.1590/S0100-06832007000500028.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy>>. Acesso em: 04 set. 2004.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. 2009 **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 355 p.

MUSGRAVE, G. **how much of the rain enters in the soils**. Department of agriculture, Washington, USA: the yearbook of agriculture. P. 151-159, 1955.

MOREIRA, J.M.M.A.P; RODRIGUES, L.N; ZANATA, J.A; TORRES, M. de O. **Planejamento de irrigação em pivô central por meio de modelos matemáticos**. XX simpósio brasileiro de recursos hídricos.

NUNES, J.A.S. **Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em latossolo vermelho de cerrado** (2012).

NESMITH, D.S. **Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

PRUSKI, F.F. et al. **Infiltração da água no solo**. Engenharia na Agricultura. Caderno Didático 25, 1997.

PRUSKI, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA E.F.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P.A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L.T. **Infiltração de água no Latossolo Roxo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 1, p.77-84, 1997.

ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre, 1981. 138p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A. **In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter**. Soil Science, Baltimore, v.140, n.4, p.292-302, 1985.

ROBAINA, L.E de S. **Zoneamento morfolitológico no Município de Manoel Viana-RS**. Geografia (Londrina), v. 22, n. 1.p. 27-37, jan/abr. 2013.

ROSEMBERG, N.J. **Response of plants to the physical effects of soil compaction**. Adv. Agron., 16:181-196, 1964.

RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P. & MCKYES, E. **Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem**. Adv. Soil Sci., 11:1-36, 1990.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2005. 26 p.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura**. Brasília: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa: UFV, 1997. 252p

SMUCKER, A.J.M.; ERICKSON, A.E. **Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration**. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. p.205-221.

SALASSIER, B; SOARES. A, A; MANTOVANI. E, C. **Manual de Irrigação**. Cap 1 Pag 34.

SALIRE, E.V., HAMMEN, J.E., HARDCASTLE, J.H. **Compression of intact subsoils under short-duration loading**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.31, p.235-248, 1994.

SOARES, F. C. **Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (Zea mays L.)**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

TAYLOR, H.M., ROBERTSON, G.M., PARKER, J.J. **Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials**. Soil Science, New York, v.102, p.18- 22, 1966.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. **Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.22, p.301-309, 1998.

VIEIRA, M.J. **Propriedades físicas do solo**. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).

ZIMMERMANN, F.L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. Dissertação (mestrado em agronomia) programa de pós-graduação em agronomia UFSM, Santa Maria, 2001.

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H.; RANDALL, G. W. **Tillage effects on measured soil hydraulic properties**. Soil Tillage Research, Amsterdam, v.25, p.17- 23, 1992.

CANAL RURAL. **Irrigação e manejo aumentam 12,7% produtividade n soja**. Junho de 2015. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/mercado-e-cia/irrigacao-manejo-aumentam-127-produtividade-soja-56959>>

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942, 124p. (University of Califórnia. Bulletin 670).

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.

COSTA, E.F. da. **Uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação em um sistema de irrigação do tipo pivô central**, 1988.

COELHO, R. D.; **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 p. LivroDocência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COELHO, F.C; **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. Bahia Agricola v.7, set. 2005.

DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 3. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1970. 453p.

DIEBOLD, C.H. **Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compaction**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 18, p. 339-343, 1954.

DEEPASK, **O mundo e as cidades através dos gráficos. Agricultura: Veja produção agrícola e área plantada por cidade do Brasil** - MANOEL VIANA, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.deepask.com/goes?page=manoel-viana/RS-Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>>.

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1 6 9 1 2012
Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 369-378, 2012.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.376-381, 2000.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. **Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 55, n. 1 jan/abr. 1998

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT**.

FARIA, J.C.; SCHAEFER, .E.R.; COSTA, .M. ET AL. **Effects of weed controlo n physical and micropedological properties os a brazilian utisol**. Revista brasileira de ciência do solo. 22:731-741.198.

FIORIN, T.T. **Estimativa de infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008, p.1.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R.
Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT.
ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 2012

FLOWERS, M.D., LAL, R. **Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J.H ; TOPP, G.C. (Ed). Methods of soil analysis: part 4 – physical methods. **Madison: American Society of America**, 2002. p.229-240.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

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.

JORNAL ZERO HORA, Campo e Lavoura. **Irrigação eleva produtividade e torna a cultura rentável.** Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2014/02/irrigacao-eleva-produtividade-e-torna-a-cultura-rentavel-4411666.html>>.

KERTZMANN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocados pela compactação.** 1996. 153p. tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy>>. Acesso em: 04 set. 2004.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. 2009 **Irrigação: princípios e métodos.** 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 355 p.

MUSGRAVE, G. **how much of the rain enters in the soils.** Department of agriculture, Washington, USA: the yearbook of agriculture. P. 151-159, 1955.

MOREIRA, J.M.M.A.P; RODRIGUES, L.N; ZANATA, J.A; TORRES, M. de O. **Planejamento de irrigação em pivô central por meio de modelos matemáticos.** XX simpósio brasileiro de recursos hídricos.

NUNES, J.A.S. **Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em latossolo vermelho de cerrado (2012).**

NESMITH, D.S. **Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

PRUSKI, F.F. et al. **Infiltração da água no solo.** Engenharia na Agricultura. Caderno Didático 25, 1997.

PRUSKI, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA E.F.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P.A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L.T. **Infiltração de água no Latossolo Roxo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 1, p.77-84, 1997.

ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico).** Porto Alegre, 1981. 138p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A. **In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter.** Soil Science, Baltimore, v.140, n.4, p.292-302, 1985.

ROBAINA, L.E de S. **Zoneamento morfolitológico no Município de Manoel Viana-RS.** Geografia (Londrina), v. 22, n. 1.p. 27-37, jan/abr. 2013.

RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P. & MCKYES, E. **Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem.** Adv. Soil Sci., 11:1-36, 1990.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal.** Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2005. 26 p.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura.** Brasília: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa: UFV, 1997. 252p

SMUCKER, A.J.M.; ERICKSON, A.E. **Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration.** In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B.; GUPTA, S.C. **Mechanics related process in structured agricultural soils.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. p.205-221.

SALASSIER, B; SOARES. A, A; MANTOVANI. E, C. **Manual de Irrigação.** Cap 1 Pag 34.

SALIRE, E.V., HAMMEN, J.E., HARDCASTLE, J.H. **Compression of intact subsoils under short-duration loading.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.31, p.235-248, 1994.

SOARES, F. C. **Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (Zea mays L.).** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

TAYLOR, H.M., ROBERTSON, G.M., PARKER, J.J. **Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials.** Soil Science, New York, v.102, p.18- 22, 1966.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. **Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.22, p.301-309, 1998.

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; WIRES, K.C. & CULLEY, J.L.B. **Non limiting water range (NLWR): An approach for assessing soil structure.** Ottawa, Agriculture and AgriFood Canada, 1994. 36p. (Technical report, 2; Soil Quality Evaluation Program).

VIEIRA, M.J. **Propriedades físicas do solo.** In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná.** Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).

ZIMMERMANN, F.L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo.** Dissertação (mestrado em agronomia) programa de pós-graduação em agronomia UFSM, Santa Maria, 2001.

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H.; RANDALL, G. W. **Tillage effects on measured soil hydraulic properties.** Soil Tillage Research, Amsterdam, v.25, p.17- 23, 1992.